



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°24: ENERGIE SOLAIRE

SECTEUR : FROID ET GENIE THERMIQUE

SPECIALITE : TSGC/TMGC/TSTI

NIVEAU : TS/T

JUILLET 2003



ISTA.ma
Un portail au service
de la formation professionnelle

Le Portail <http://www.ista.ma>

Que vous soyez étudiants, stagiaires, professionnels de terrain, formateurs, ou que vous soyez tout simplement intéressé(e) par les questions relatives aux formations professionnelles, aux métiers, <http://www.ista.ma> vous propose un contenu mis à jour en permanence et richement illustré avec un suivi quotidien de l'actualité, et une variété de ressources documentaires, de supports de formation, et de documents en ligne (supports de cours, mémoires, exposés, rapports de stage ...) .

Le site propose aussi une multitude de conseils et des renseignements très utiles sur tout ce qui concerne la recherche d'un emploi ou d'un stage : offres d'emploi, offres de stage, comment rédiger sa lettre de motivation, comment faire son CV, comment se préparer à l'entretien d'embauche, etc.

Les forums <http://forum.ista.ma> sont mis à votre disposition, pour faire part de vos expériences, réagir à l'actualité, poser des questionnements, susciter des réponses. N'hésitez pas à interagir avec tout ceci et à apporter votre pierre à l'édifice.

Notre Concept

Le portail <http://www.ista.ma> est basé sur un concept de gratuité intégrale du contenu & un modèle collaboratif qui favorise la culture d'échange et le sens du partage entre les membres de la communauté ista.

Notre Mission

Diffusion du savoir & capitalisation des expériences.

Notre Devise

Partageons notre savoir

Notre Ambition

Devenir la plate-forme leader dans le domaine de la Formation Professionnelle.

Notre Défi

Convaincre de plus en plus de personnes pour rejoindre notre communauté et accepter de partager leur savoir avec les autres membres.

Web Project Manager

- Badr FERRASSI : <http://www.ferrassi.com>

- contactez : admin@ista.ma

Remerciements

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module de formation.

Pour la supervision :

M. Rachid GHRAIRI : Chef de projet Froid et Génie Thermique

M. Mohamed BOUJNANE : Coordonnateur du CFF/ Froid et Génie Thermique

Pour l'élaboration

Mr EL KHATTABI M'Hamed : Formateur à ISGTF- Casablanca

Pour la validation :

- **Mme : BENJELLOUNE Ilham** : Formatrice Animatrice à l'ISGTF
- **Mme MARFOUK Aziza** : Formatrice à l'ISGTF
- **Mme NASSIM Aziza** : Formatrice à l'ISGTF
- **Mr EL KHATTABI M'Hamed** : Formateur à l'ISGTF

*les utilisateurs de ce document sont invités a
communiquer à la DRIF toutes les remarques et
suggestions afin de les prendre en consideration
pour l'enrichissement et l'amélioration de ce
programme.*

Mr. SAID SLAOUI
DRIF

SOMMAIRE

| | Page |
|--|------|
| <i>Présentation du module</i> | 6 |
| <i>Résumé de théorie</i> | 10 |
| <i>I. Gisement solaire marocain</i> | |
| <i>I.1. Données astronomiques</i> | |
| <i>I.2. Données météorologiques</i> | 17 |
| <i>II. Technologie des capteurs solaires</i> | |
| <i>II.1. Rayonnement solaire</i> | |
| <i>II.2 les matériaux de construction</i> | 29 |
| <i>III. Conception des installations solaires</i> | |
| <i>III.1. Pompes</i> | |
| <i>III.2. Réservoirs d'accumulations</i> | |
| <i>III.3. Résistances électriques</i> | |
| <i>III.4. Echangeurs</i> | |
| <i>IV. Dimensionnement du système solaire</i> | 44 |
| <i>IV.1. Détermination des besoins en eau chaude du client</i> | |
| <i>IV.2. Détermination de la surface de captage</i> | |
| <i>Guide de travaux pratiques</i> | |
| <i>TP1. Raccordement des tubes au capteur</i> | 51 |
| <i>TP2. Façonnage des tubes au capteur</i> | |
| <i>Evaluation de fin de module</i> | 54 |
| <i>Liste bibliographique</i> | 55 |

MODULE N° 24 :

ENERGIE SOLAIRE

Durée : 60 H

52% : théorique

48% : pratique

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit maîtriser les techniques de l'énergie solaire selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent

CONDITIONS D'EVALUATION

- A partir des directives données par le formateur
- A partir de mises en situation

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Maîtrise correcte de la technologie du système solaire
- Dimensionnement juste des surfaces de captage du chauffe eau solaire

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICUIERS DE
PERFORMANCE**

A. Connaître le gisement
Solaire marocain

** Connaissance exacte de l'énergie solaire
reçue dans toutes les régions
marocaines

B. Connaître les capteurs
solaires

* Connaissance juste du principe physique
d'un capteur solaire
* Connaissance exacte des composants
d'un capteur solaire

C. Connaître la conception
des installations solaires
Individuelles et collectives

** Identification juste des composants
d'un système solaire individuel
** Identification juste des composants
d'un système solaire collectif

D. Dimensionner le système
Solaire

* Connaissance juste de la surface
de captage

OBJECTIFS OPERATIONNELLS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir-faire, savoir-percevoir ou savoir-être juges préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau, tels que :

Avant d'apprendre à connaître le gisement solaire marocain , (A) le stagiaire doit :

1. *Connaître les données astronomiques*
2. *Savoir utiliser les données météorologiques*

Avant d'apprendre à connaître les capteurs solaires , (B) le stagiaire doit :

3. *Connaître le rayonnement solaire*
4. *connaître les propriétés du rayonnement*
5. *connaître les matériaux de construction*

Avant d'apprendre à connaître la conception des installations solaires , (C) le stagiaire doit :

6. *Connaître le rôle des pompes et réservoirs d'accumulation*
7. *Connaître le rôle des résistances électriques et échangeurs*

Avant d'apprendre à dimensionner le système solaire , (D) le stagiaire doit :

8. *Déterminer les besoins en eau chaude du client*

PRESENTATION DU MODULE

Ce module Energie solaire est dispensé pour les Techniciens en thermiques industrielle .

Il est situé parmi les modules qualifiants.

Il porte sur la technologie et le principe physique des chauffe-eau solaire

Le volume horaire théorique est de 52heures

Le volume horaire pratique est de 8 heures

Ce module est adressé au formateur, il lui permet de préparer ses cours pour répondre aux objectifs visés par la formation.

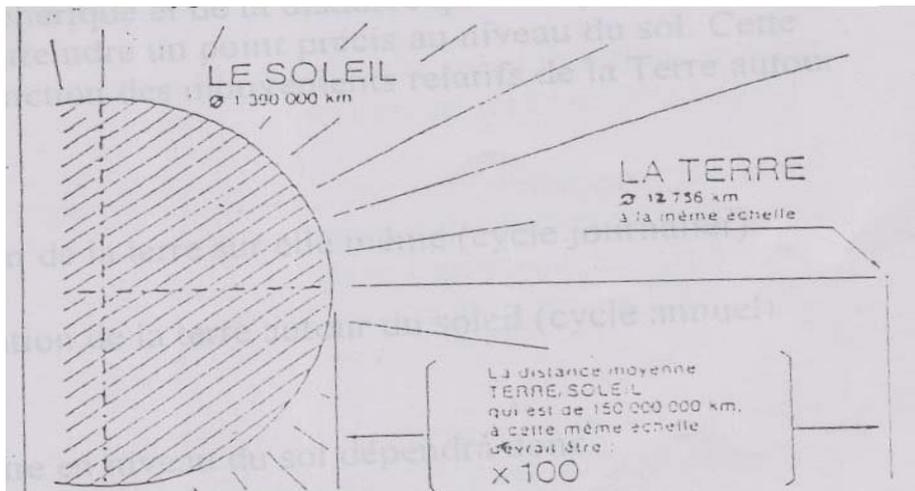
Module : *ENERGIE SOLAIRE*
RESUME THEORIQUE

Chapitre 1 : Gisement solaire marocain

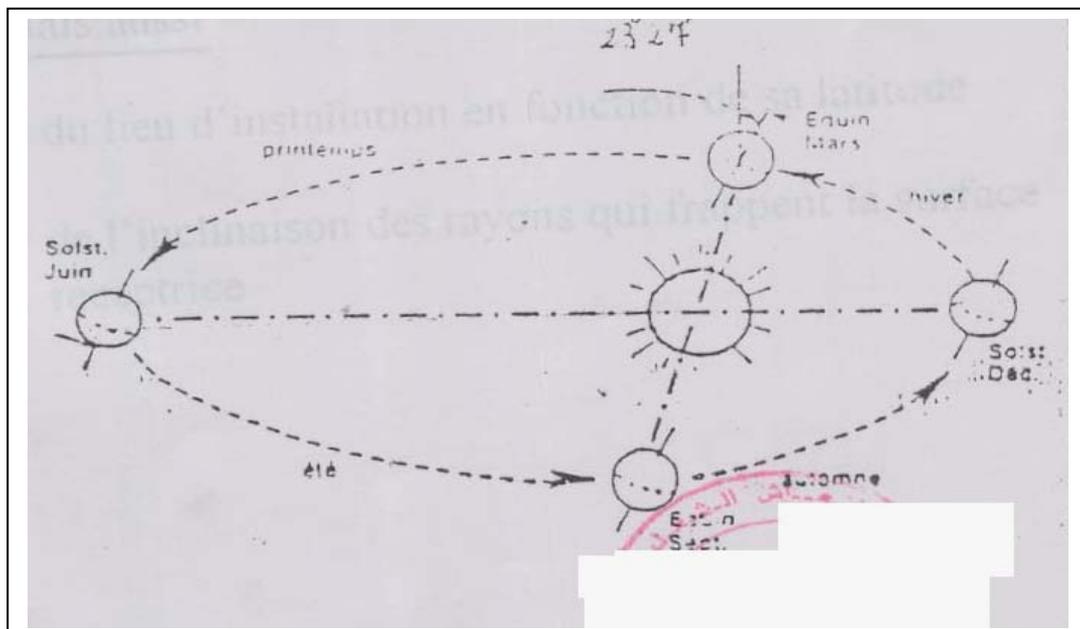
1 - Données astronomiques

- le soleil est l'astre central de notre système planétaire.
- le cœur du soleil est une gigantesque réaction thermonucléaire où l'hydrogène est transformé en hélium, qui rayonne en toutes directions.

Erreur !



- compte tenu de la dimension du soleil par rapport de la terre et de la distance qui les sépare, rayons qui atteignent la terre sont parallèles



Le rayonnement solaire au niveau du sol

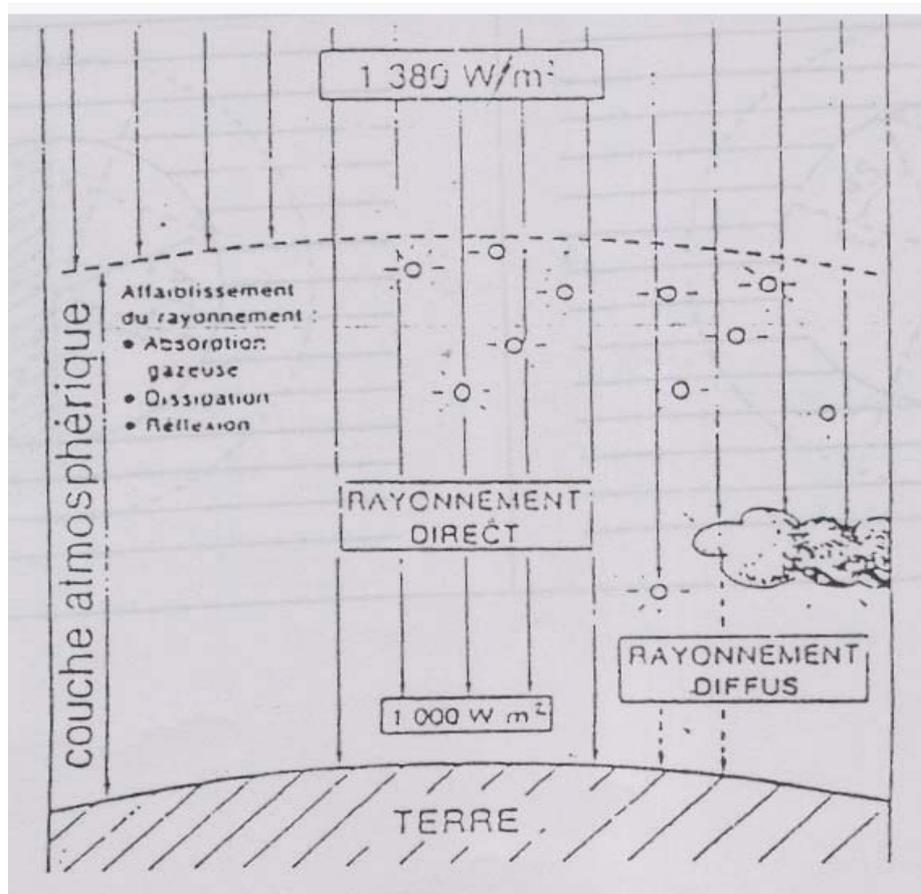
- *la puissance de rayonnement solaire au niveau du sol dépend de la couche atmosphérique et de la distance qui doit parcourir le rayonnement pour atteindre un point précis au niveau du sol. Cette distance varie en fonction des mouvements relatifs de la terre autour du soleil étant :*
 - * *Rotation de la terre sur elle-même (cycle journalier)*
 - * *Translation de la terre autour du soleil (cycle annuel)*
- *Le flux solaire en niveau du sol dépendra donc :*
 - * *De l'instant de la journée (cycle journalier)*
 - * *Du jour de l'année (cycle annuel)*

Mais aussi

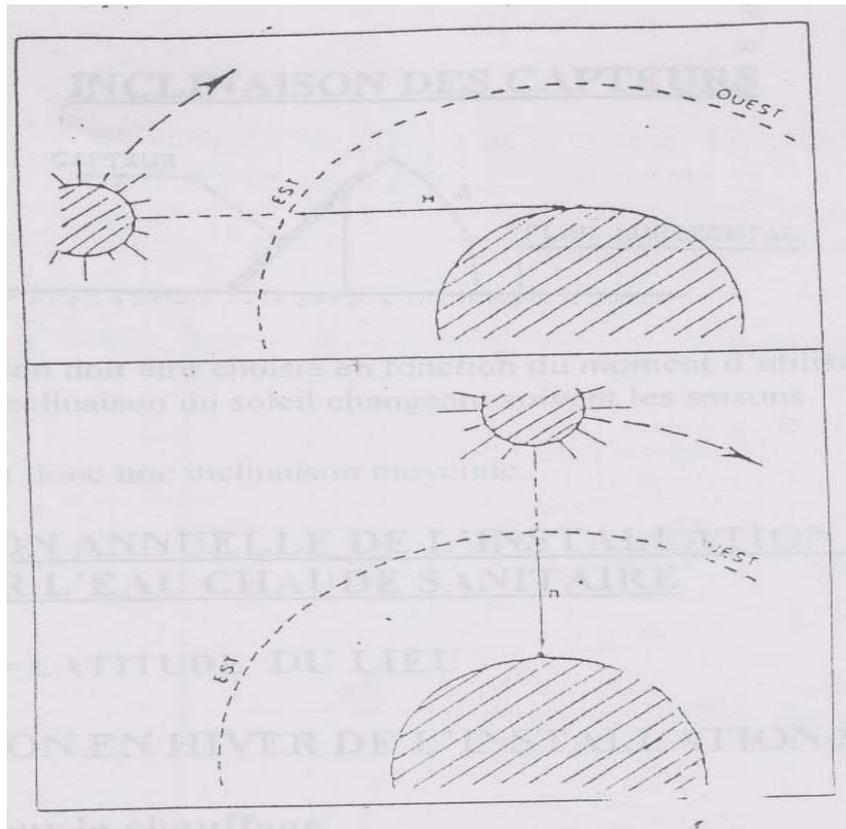
- * *Du lieu d'installation en fonction de sa latitude.*
- * *De l'inclinaison des rayons qui frappent la surface réceptrice.*

- Au voisinage de la couche atmosphérique, la puissance du rayonnement émis par le soleil à une valeur moyenne de 1380W/m^2 sur une surface placée perpendiculairement aux rayons.
- Le rayonnement qui atteint le sol se compose de rayonnement direct et de rayonnement diffus
 - * Le rayonnement direct : c'est le soleil que nous voyons briller et qui nous irradie.
 - * Le rayonnement diffus : c'est le rayonnement absorbé par les particules en suspension dans l'atmosphère et qui est dissipé dans toutes les directions.
- Au niveau du sol la puissance maximal n'est que d'environ 1000W/m^2 dans les conditions climatiques les plus favorables le rayonnement diffus est faible : 150 à 200W/m^2

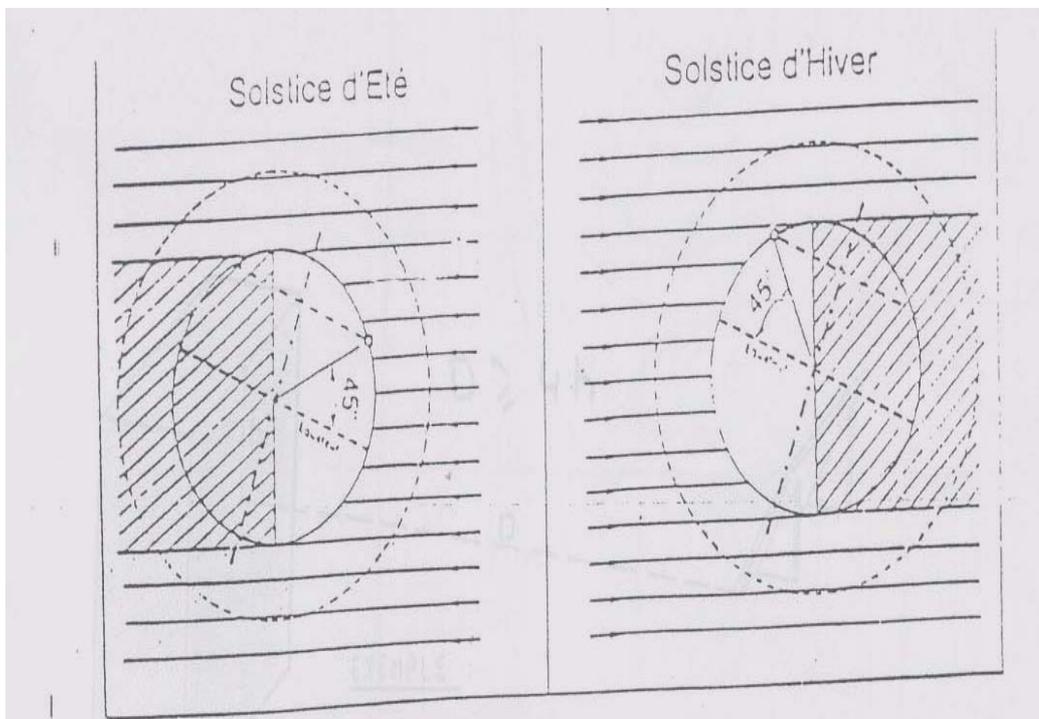
Donc le rayonnement direct est absolument nécessaire



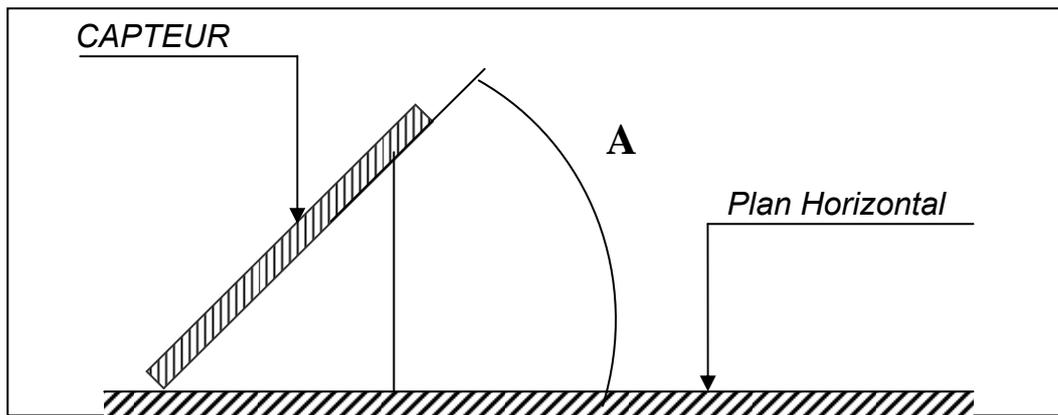
L'instant de
La journée



Le jour de l'année



INCLINAISON DES CAPTEURS



L'inclinaison doit être choisie en fonction du moment d'utilisation de l'installation, l'inclinaison du soleil changeant suivant les saisons.

On choisit donc une inclinaison moyenne.

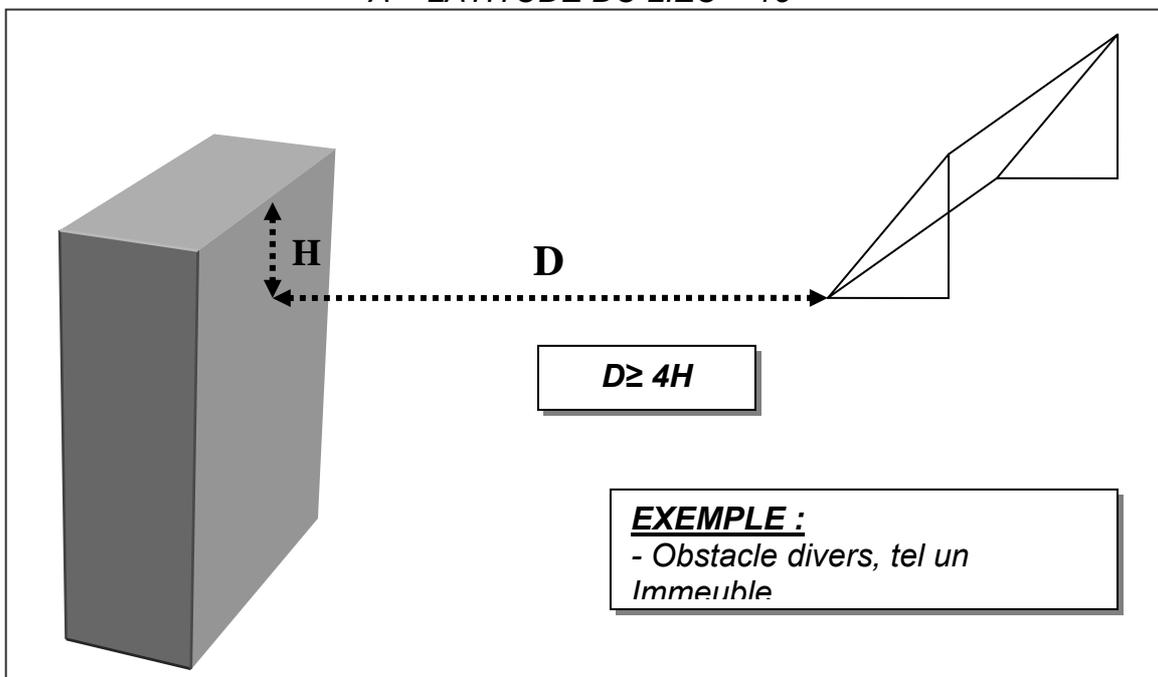
UTILISATION ANNUELLE DE L'INSTALLATION SOLAIRE
DONC POUR L'EAU CHAUDE SANITAIRE.

$A = \text{LATITUDE DU LIEU}$

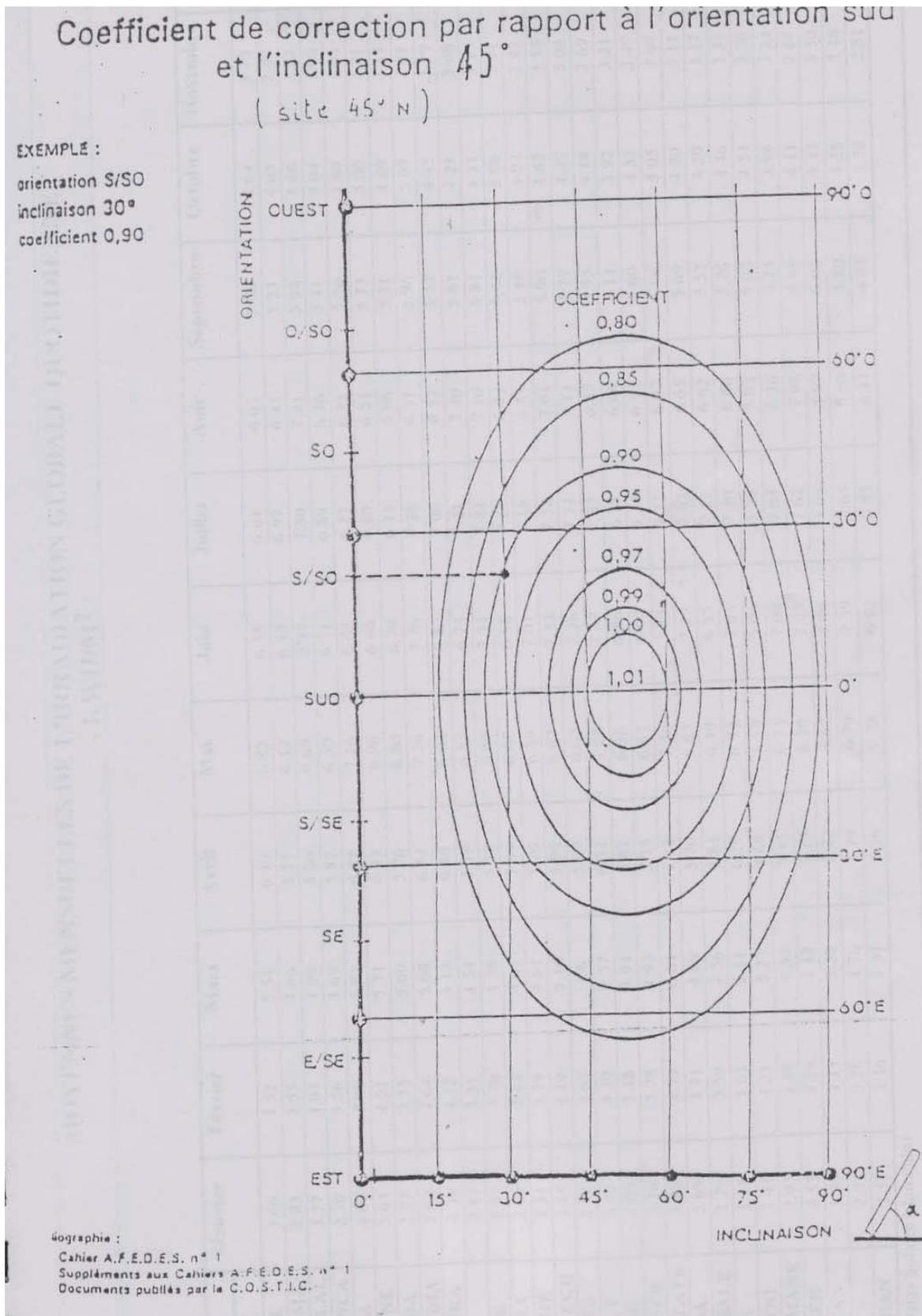
UTILISATION EN HIVER DE L'INSTALLATION SOLAIRE

Donc pour le chauffage

$A = \text{LATITUDE DU LIEU} + 15^\circ$



Coefficient de correction par rapport à l'orientation sud et l'inclinaison 45°



2) Données météorologiques

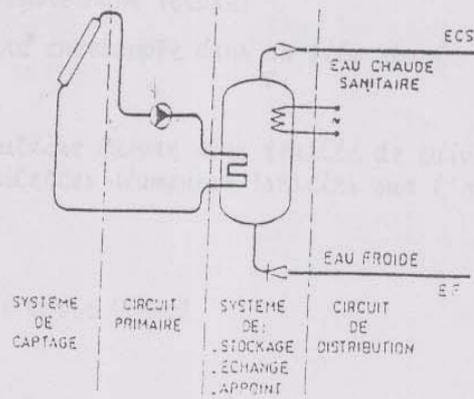
MOYENNES MENSUELLES DE L'IRRADIATION GLOBALE QUOTIDIENNE
- KWH/M² -

| MOIS VILLE | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Jun | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|---------------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|
| AGADIR | 3.66 | 4.52 | 5.54 | 6.49 | 6.82 | 6.58 | 6.64 | 6.03 | 5.50 | 4.64 | 3.73 | 3.13 |
| AL HOCEIMA | 2.83 | 3.55 | 4.66 | 5.55 | 6.42 | 6.19 | 6.97 | 6.42 | 5.23 | 4.03 | 2.97 | 2.6 |
| BENI-MELLAL | 3.27 | 4.04 | 4.99 | 5.86 | 6.69 | 7.17 | 7.80 | 7.21 | 5.98 | 4.66 | 3.52 | 3.00 |
| CASABLANCA | 2.70 | 3.56 | 4.69 | 5.82 | 6.39 | 6.71 | 6.89 | 6.36 | 5.41 | 4.04 | 3.00 | 2.83 |
| DAKHLA | 4.06 | 4.90 | 5.81 | 6.59 | 7.16 | 6.68 | 6.23 | 6.21 | 5.76 | 4.80 | 4.03 | 3.78 |
| EL AYOUNE | 3.63 | 4.91 | 5.71 | 6.43 | 6.96 | 6.96 | 6.80 | 6.51 | 5.73 | 5.00 | 4.21 | 3.49 |
| EL JADIDA | 2.77 | 3.55 | 5.00 | 5.76 | 6.80 | 6.79 | 6.12 | 5.96 | 5.31 | 4.09 | 3.15 | 2.65 |
| ERRACHIDIA | 3.60 | 4.64 | 5.68 | 6.54 | 7.36 | 7.70 | 7.38 | 6.71 | 5.96 | 5.07 | 4.01 | 3.56 |
| ESSAOUIRA | 3.30 | 4.12 | 5.12 | 6.10 | 6.63 | 6.87 | 7.06 | 6.57 | 5.57 | 4.42 | 3.79 | 2.97 |
| FES | 2.87 | 3.55 | 4.54 | 5.39 | 6.55 | 6.75 | 7.61 | 7.40 | 5.81 | 4.24 | 3.08 | 2.62 |
| IFRANE | 2.97 | 3.70 | 4.58 | 5.18 | 6.59 | 7.31 | 7.81 | 7.10 | 5.81 | 4.31 | 3.15 | 2.65 |
| KENITRA | 2.62 | 3.44 | 4.61 | 5.89 | 6.67 | 6.98 | 7.22 | 6.72 | 5.54 | 3.98 | 2.91 | 2.35 |
| LARACHE | 2.51 | 3.29 | 4.61 | 5.76 | 6.59 | 7.01 | 7.18 | 6.55 | 5.46 | 4.04 | 2.93 | 2.33 |
| MARRAKECH | 3.45 | 4.19 | 5.16 | 5.96 | 6.67 | 7.34 | 7.58 | 7.01 | 5.90 | 4.62 | 3.58 | 3.19 |
| MEKNES | 2.82 | 3.67 | 4.6 | 5.69 | 6.62 | 7.26 | 7.74 | 7.11 | 5.77 | 4.27 | 3.08 | 2.53 |
| MIDELT | 3.52 | 4.40 | 5.57 | 6.52 | 7.08 | 7.47 | 7.33 | 6.85 | 5.95 | 4.18 | 3.69 | 3.31 |
| NADOR | 2.69 | 3.48 | 4.94 | 5.82 | 6.36 | 6.86 | 6.78 | 6.06 | 5.11 | 3.92 | 3.21 | 2.49 |
| NOUASSER | 3.10 | 3.78 | 4.93 | 5.75 | 6.53 | 6.90 | 7.35 | 6.92 | 5.60 | 4.32 | 3.49 | 2.75 |
| OUARZAZATE | 3.86 | 4.79 | 6.01 | 7.11 | 7.56 | 7.85 | 7.51 | 6.87 | 6.06 | 5.05 | 4.00 | 3.58 |
| OUJDA | 2.89 | 3.71 | 4.69 | 5.76 | 6.67 | 7.25 | 7.65 | 6.65 | 5.69 | 4.30 | 3.13 | 2.67 |
| RABAT-SALE | 2.79 | 3.59 | 4.56 | 5.81 | 6.59 | 6.85 | 7.12 | 6.62 | 5.52 | 4.20 | 3.17 | 2.55 |
| SAFI | 3.12 | 4.03 | 5.11 | 6.29 | 6.92 | 7.03 | 7.30 | 6.86 | 5.76 | 4.46 | 3.37 | 2.89 |
| SIDI IFNI | 3.41 | 4.23 | 5.27 | 5.68 | 5.59 | 5.06 | 5.08 | 5.03 | 5.03 | 4.54 | 3.76 | 3.25 |
| SIDI SLIMANE | 2.95 | 3.48 | 4.55 | 5.45 | 6.73 | 7.09 | 7.05 | 6.46 | 5.25 | 3.98 | 3.23 | 2.60 |
| TANGER | 2.53 | 3.29 | 4.48 | 5.74 | 6.78 | 7.27 | 7.62 | 7.08 | 5.69 | 4.11 | 2.88 | 2.30 |
| TAN TAN | 3.39 | 4.34 | 5.28 | 5.72 | 5.62 | 4.90 | 4.95 | 4.97 | 5.03 | 4.43 | 3.50 | 3.30 |
| TAZA | 2.93 | 3.76 | 4.76 | 5.79 | 6.79 | 7.39 | 7.65 | 6.96 | 5.80 | 4.28 | 3.18 | 2.69 |
| TETOUAN | 2.57 | 3.16 | 4.31 | 5.36 | 6.28 | 6.95 | 6.93 | 6.41 | 4.93 | 3.76 | 2.81 | 2.43 |

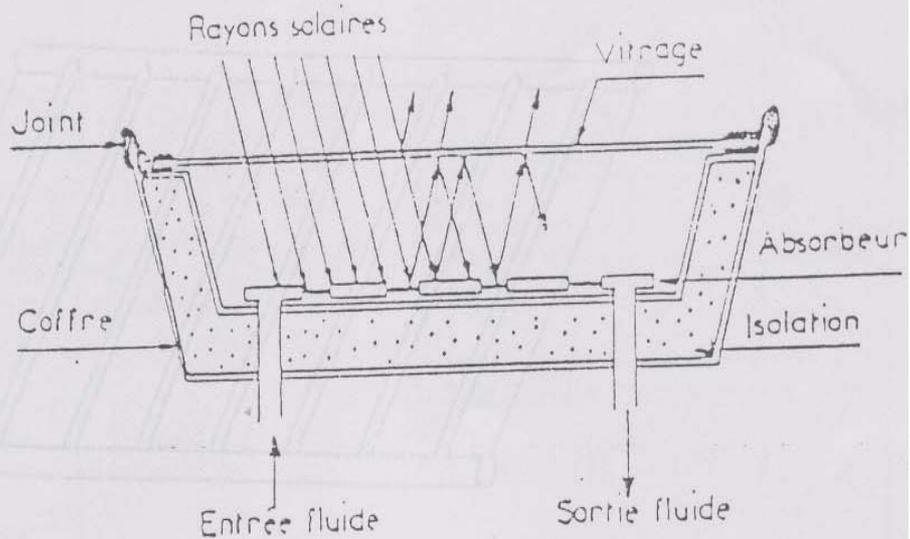
(Extrait: Atlas Solaire Marocain)

Chapitre 2 : Technologie des capteurs solaires

- Principe de la production d'eau chaude sanitaire solaire



- Captation des rayons solaires :



Exemple de choix

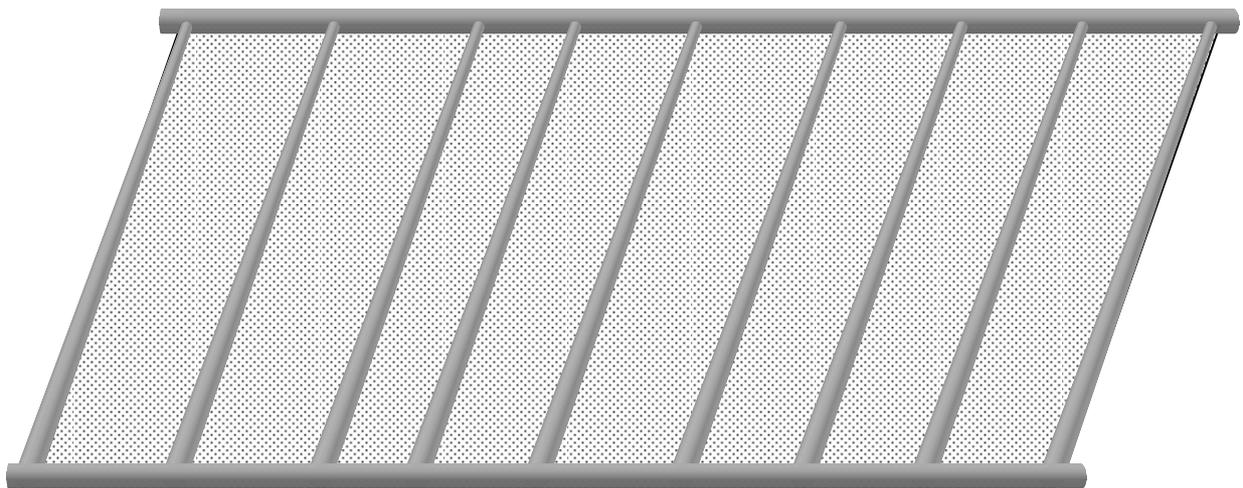
COFFRE : matière plastique résine polyster armée de fibre de verre, acier inoxydable

ISOLATION : mousse de polyuréthane (close)
Laine de verre enveloppé dans un film souple réfléchissant.

ABSORBEUR : faisceau tubulaire cuivre avec feuille de cuivre brasée ou garni d'ailettes aluminium (sorties sur l'extérieur du tube).

COUVERTURE TRANSPARANTE : verre trempé.

Exemple d'absorbeur à liquide :

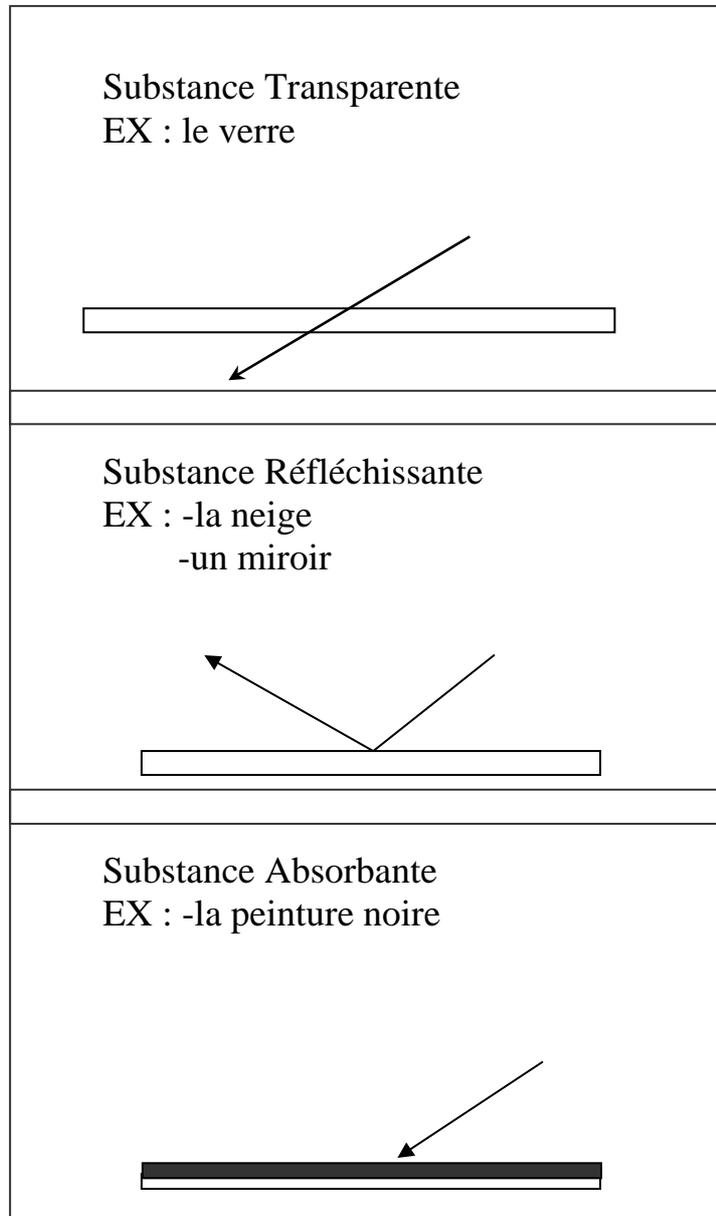


L'absorbeur est muni de passages pour la circulation du fluide à chauffer.

Le revêtement absorbe et transforme le rayonnement solaire en chaleur.

En effet vis-à-vis du rayonnement reçu, toute substance se comporte de l'une des manières suivantes (ou de plusieurs à la fois) :

Un bon revêtement doit être fortement absorbant.
(Coefficient d'absorption de 85 à 97%)



REVETEMENT SELECTIF DES ABSORBEURS

Les absorbeurs doivent être traités superficiellement afin de présenter un aspect foncé (pour mieux absorber le rayonnement), et mat (pour éviter la réflexion du rayonnement).

Pour cela, différentes méthodes sont utilisées :

- **Revêtement par peinture** : le coefficient d'absorption (α) est généralement bon : $> 0,90$; par contre, le coefficient d'émission (β) est élevé : $> 0,70$. Certaines peintures ont une émissivité égale à l'absorption.
- **Revêtement par électrodéposition** : ces revêtements du type chrome noir ou nickel noir sont performants.
 - o le coefficient d'absorption (α) supérieur : $> 0,95$
 - o coefficient d'émission (β) faible : inférieur 0,15

Il faut cependant apporter un grand soin lors de l'application de ces produits pour éviter un phénomène de pelliculage dans le temps.

- **Par oxydation provoquée de l'absorbeur** : dans ce cas, il n'y a aucune déposition. L'oxydation de la matière est provoquée, soit par anodisation (procédure électrochimique), soit par traitement chimique (procédure par trempage).

Les caractéristiques α et β sont au moins égales à celles des revêtements par électrodéposition.

Nota : le revêtement par électrodéposition et le traitement par oxydation provoquée sont des procédés encore coûteux.

ISOLANTS

Laine de verre : - 5 à 10 Cm

- $T_{max} = 150 \text{ °C}$ $\lambda = 0,041 \text{ W/m. °C}$
- Craint l'humidité.

Polyuréthane : - panneaux rigides à 4 Cm

$$T_{max} = 100 \text{ °C} \quad \lambda = 0,029 \text{ W/m. °C}$$

$$T_{max} = 130 \text{ °C} \quad \lambda = 0,027 \text{ W/m. °C}$$

(Utilisation cumulus)

Laine de Roche

- Craint l'humidité
- S'écrase moins que la laine de verre
- $T_{max} = 150 \text{ °C}$ $\lambda = 0,041 \text{ W/m. °C}$

Polystyrène)

- panneaux rigides
- $T_{max} = 85 \text{ °C}$ $\lambda = 0,042 \text{ W/m. °C}$

Liège expansé :

$$- T_{max} = 100 \text{ °C} \quad \lambda = 0,043 \text{ W/m. °C}$$

Forma phénol ou urée - formol :

$$- T_{max} = 140 \text{ °C} \quad \lambda = 0,044 \text{ W/m. °C}$$

RAYONNEMENT SOLAIRE

L'effet de serre : la nature de la couverture transparente a une grande importance.

Le rayonnement solaire est composé de :

- 3% d'ultra – violet.*
- 42% de visible.*
- 55% d'infra – rouge.*

L'ensemble compris entre 0,25 et 4 μ de longueur d'onde.

Le verre est le meilleur matériau pour la couverture des capteurs solaires car il est perméable au rayonnement solaire qui est compris entre 0,25 et 4 μ de longueur d'onde et opaque au rayonnement de longueur d'onde supérieure à 4 μ . Il est inaltérable.

Les verres traités antiréfléchissants sont à déconseiller. Ils améliorent la pénétration du rayonnement à l'intérieur du capteur lorsque l'angle d'inclinaison du rayonnement sur la vitre est faible (moins de réflexion), mais ceci, pendant la période où la puissance du rayonnement solaire est faible et la surface projetée du capteur est petite.

Par contre, du fait du traitement qui les rend moins transparents, ils diminuent sensiblement la pénétration pendant la période où la puissance du rayonnement est la plus forte et où la surface insolée est la plus grande

Seuls les verres purifiés apportent une amélioration, mais ils sont très onéreux.

Le verre qualité « glace claire » convient bien, s'il est trempé, il présente l'avantage de mieux résister aux chocs mécaniques (transport, grêle ...) et aux chocs thermiques.

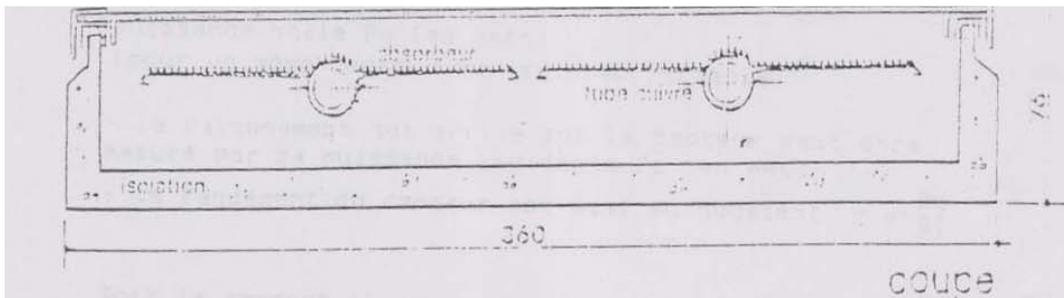
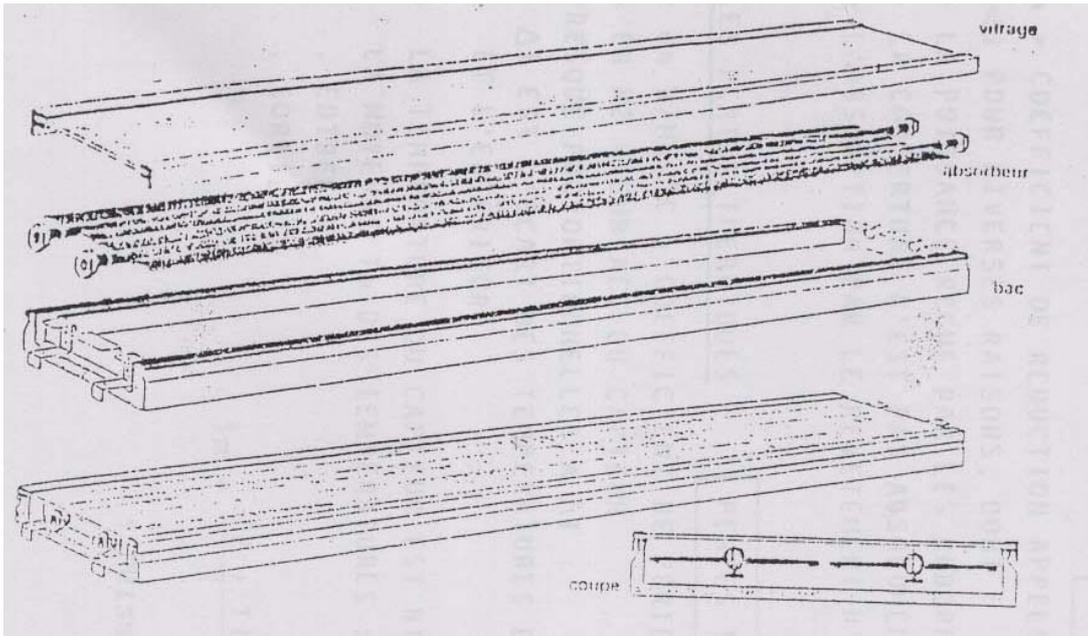
L'absorbeur, chauffé par le rayonnement solaire, réémet dans l'infra –rouge, mais à grande longueur d'onde, au – delà de 4 μ (4 à 70 μ).

Le verre imperméable au rayonnement supérieur à 4 μ , bloque ce rayonnement, s'échauffe et émet à son tour en dissipant une moitié de cette énergie vers l'extérieur et une moitié vers l'intérieur du capteur qui est alors récupérée par l'absorbeur.

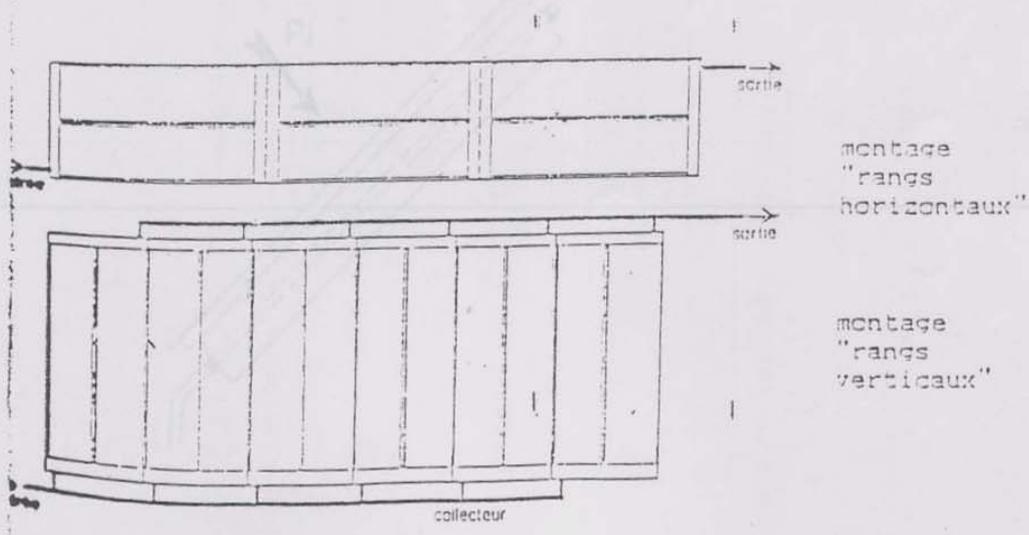
(μ = micron)

Exemple de capteur plan

Err



- exemple de montage en batterie :



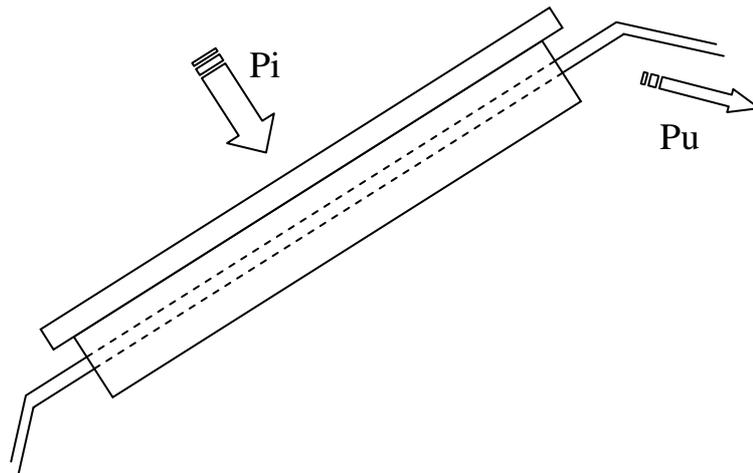
B – RENDEMENT DES CAPTEURS PLAN A EAU

- la puissance thermique donnée par le capteur au liquide caloporteur est appelée : PUISSANCE UTILE (P_u) en Watt.

- (Pour un même capteur P_u est très variable).
- Le rayonnement qui arrive sur le capteur peut être mesuré par sa puissance incidente P_i (en Watt)
 - Le rendement du capteur est égal au quotients :

$$r = \frac{P_u}{P_i}$$

Soit le rapport : $\frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance incidente}}$



Les apports :

$$\text{APPORT} = a. P_i$$

a = coefficient de réduction appelé parfois « RENDEMENT OPTIQUE »

< 1 pour diverses raisons, dont :

- la puissance reçue par les rebords n'est pas utilisée.
- La couverture n'est pas absolument transparente.
- L'absorption par revêtement n'est pas totale, etc....

Les pertes thermiques :

$$\text{PERTES THERMIQUES} = (C. A). \Delta T$$

C en $W/m^2.C^\circ$ = coefficient de pertes

A en m^2 = surface du capteur

Presque proportionnelle à ΔT :

- ΔT est l'écart des températures entre le capteur et l'extérieur
- la température du capteur est bien représentée par la moyenne T_m des températures :

*entrée T_1

*sortie T_2

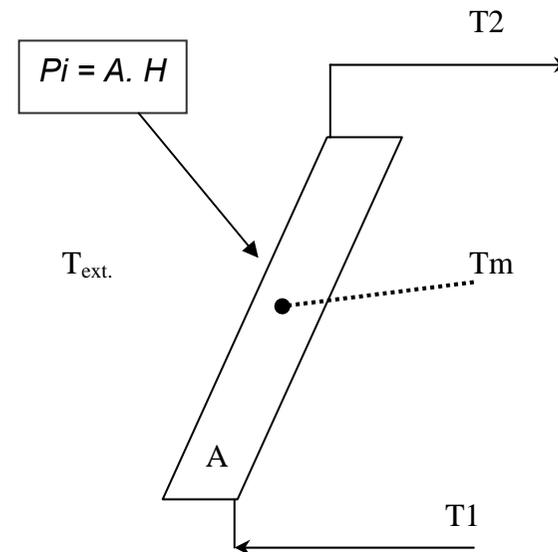
$$T_m = \frac{T_2 + T_1}{2}$$

PUISSANCE UTILE FOURNIE PAR LE CAPTEUR

Le bilan peut s'écrire :

$$P_u = \underbrace{a. P_i}_{\text{Apports}} - \underbrace{(C. A) \Delta T}_{\text{pertes thermiques}}$$

$$\Delta T = T_m - T_{ext.}$$



H = puissance incidente en W/m^2

Nous utilisons l'expression de P_u

$$P_u = a \cdot P_i - (C \cdot A) \Delta T$$

$$\frac{P_u}{P_i} = \frac{a P_i - (C A) \Delta T}{P_i} \quad (\text{avec } P_i = A \cdot H)$$

$$r = a - C \frac{\Delta T}{H}$$

NOTA : a est parfois appelé α

C est parfois appelé K (cf. CETIAT)

Le rendement d'un capteur est d'autant meilleur que :

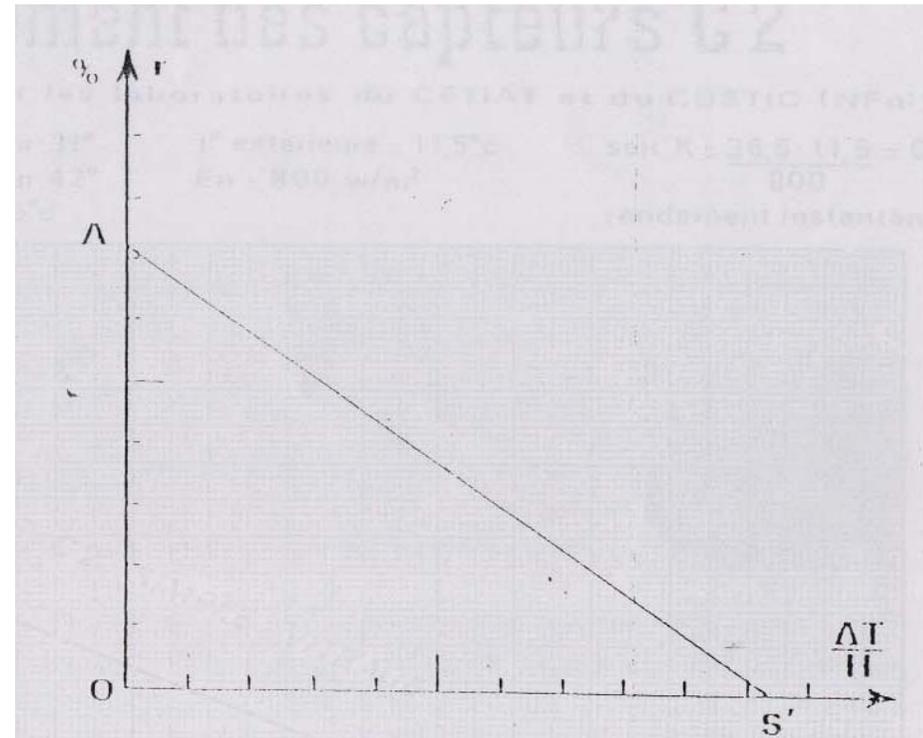
ΔT est petit

H est grand

Pour tracer AS' à partir des données

$$r = a - C \frac{\Delta T}{H}$$

Nous pouvons utiliser : $OA = a$ et $OS' = a/C$



VARIATION DU RENDEMENT DU CAPTEUR A LIQUIDE

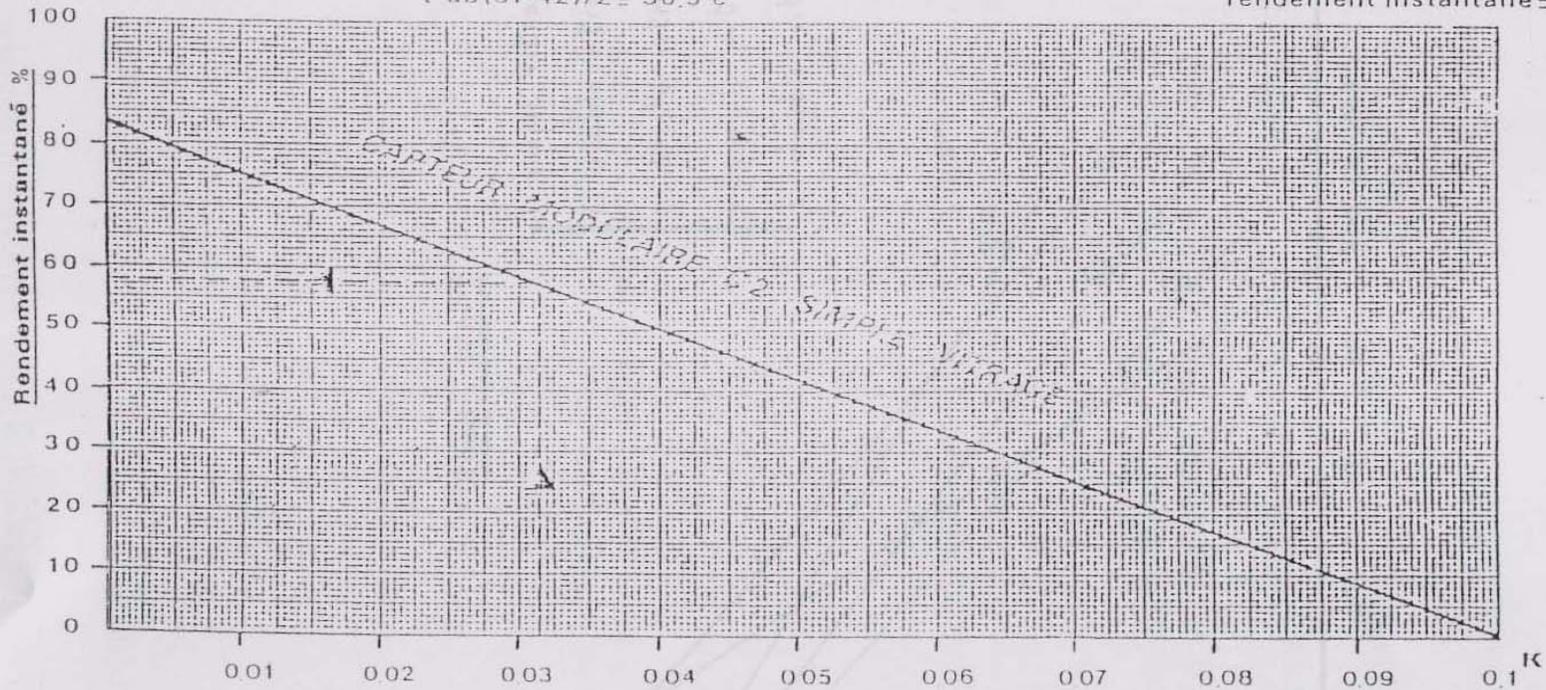
Abaque de rendement des capteurs C2

Abaque de rendement des capteurs C2

D'après les résultats d'essais effectués par les laboratoires du CETIAT et du COSTIC (NF n° 50501)

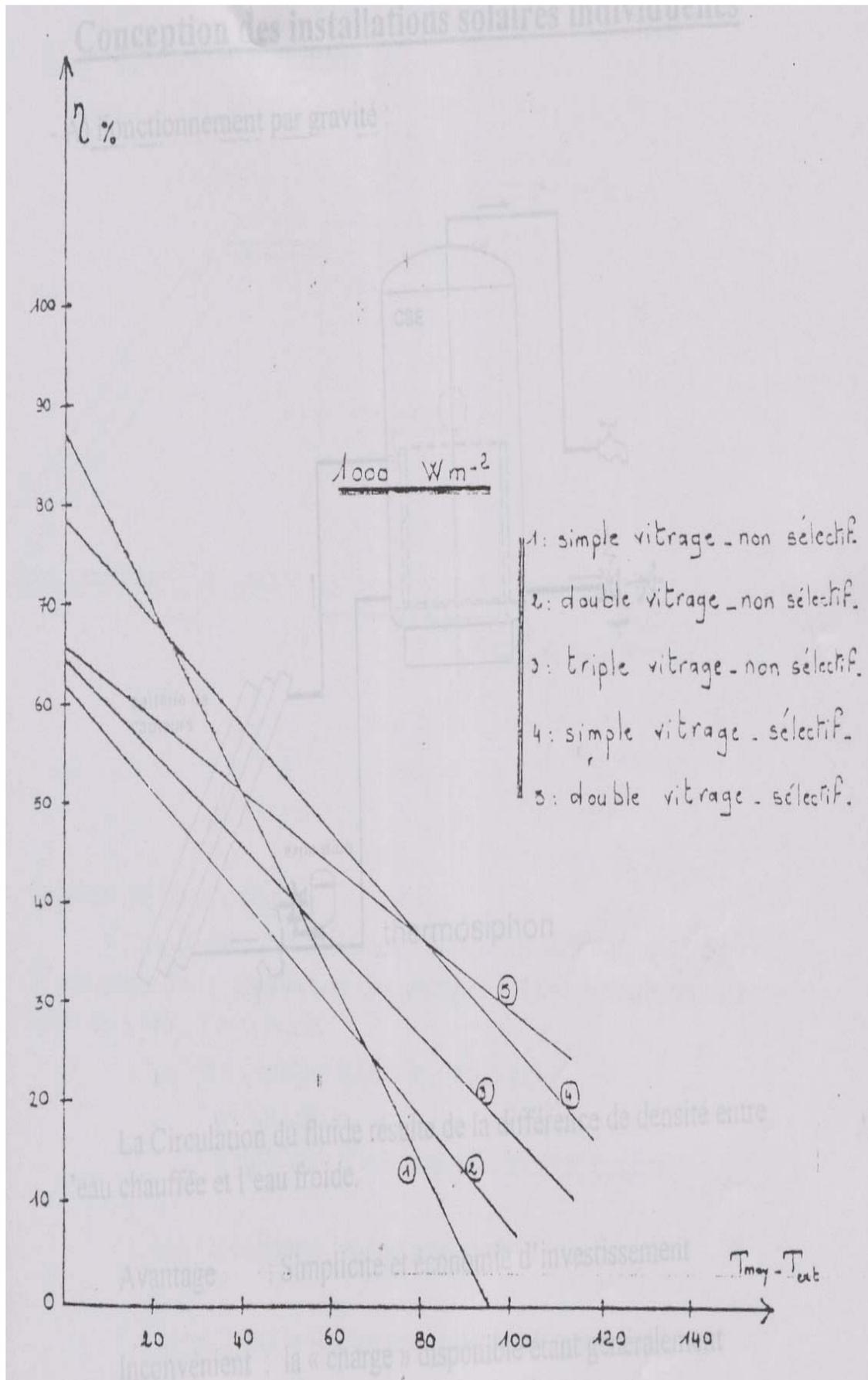
EXEMPLE DE CALCUL

- t° entrée eau capteur: 31°
- t° sortie eau capteur: 42°
- $t^{\circ} ab = (31 + 42) / 2 = 36,5^{\circ}c$
- t° extérieure = $11,5^{\circ}c$
- $En = 800 w/m^2$
- soit $K = \frac{36,5 - 11,5}{800} = 0,031$
- rendement instantané = 57%



$t^{\circ} ab = \frac{t^{\circ} sortie + t^{\circ} entrée}{2}$
 $t^{\circ} a = t^{\circ} extérieure$
 $En = \text{flux solaire incident par } m^2$

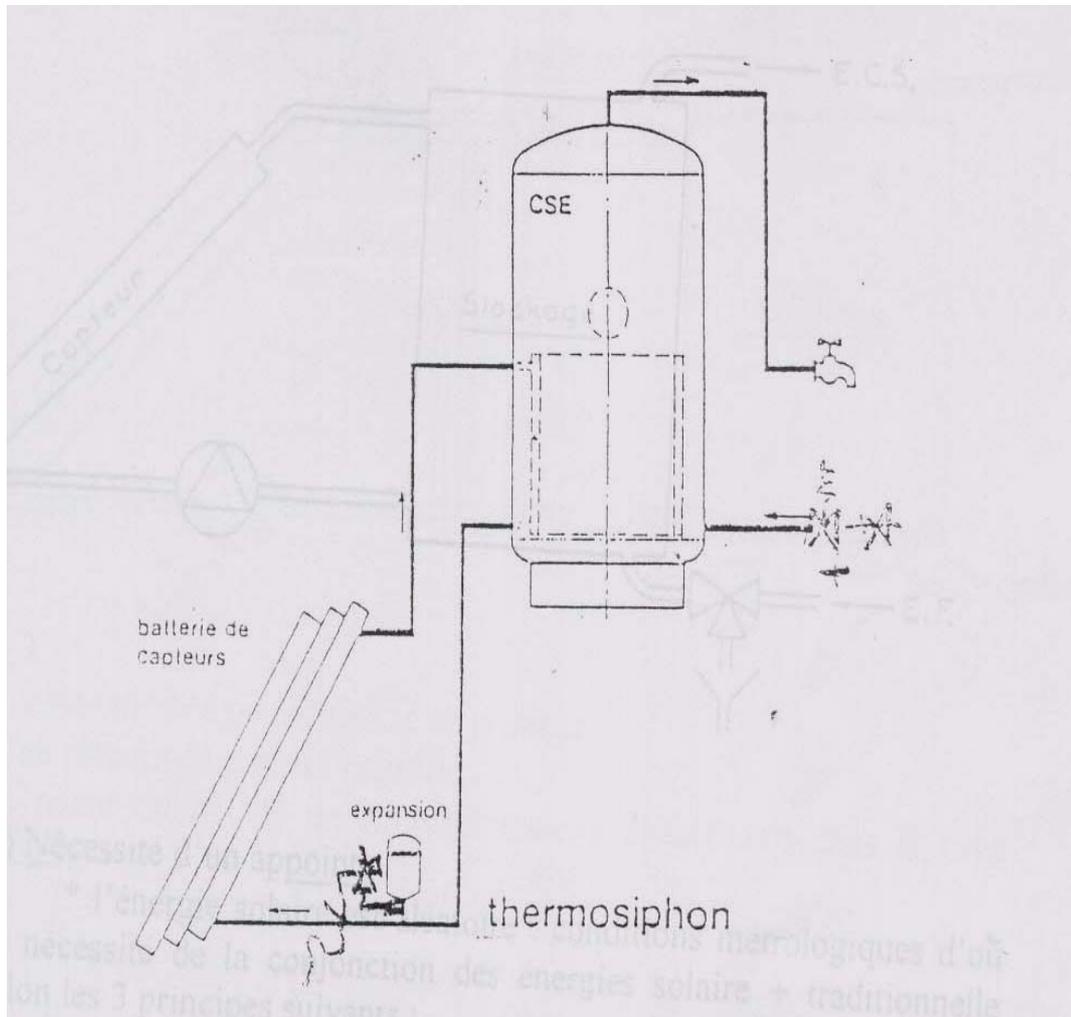
$K = \frac{t^{\circ} ab - t^{\circ} a}{En} = \left(\frac{^{\circ}c \cdot m^2}{w} \right)$



Chapitre 3 : Conception des installations solaires individuelles

A) Fonctionnement par gravité :

Erreur !



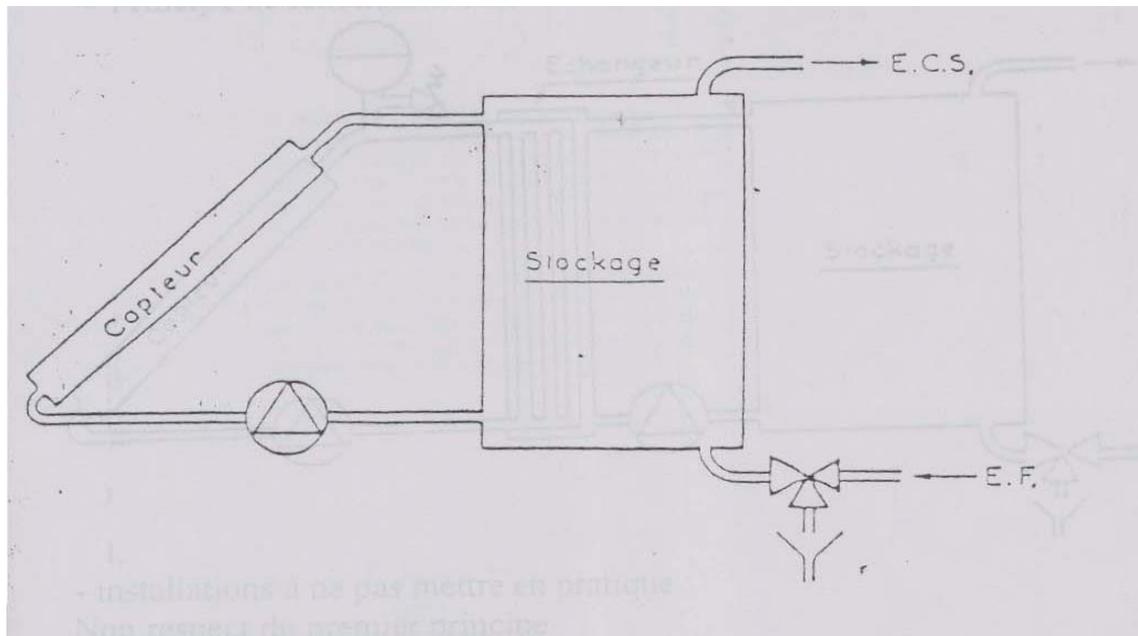
La circulation du fluide résulte de la différence de densité entre l'eau chauffée et l'eau froide.

- **Avantage** : simplicité et économie d'investissement.
- **Inconvénient** : la « charge » disponible étant généralement faible, la circulation est lente.

(Chute de rendement global).

B) Avec pompe de circulation

Erreur !

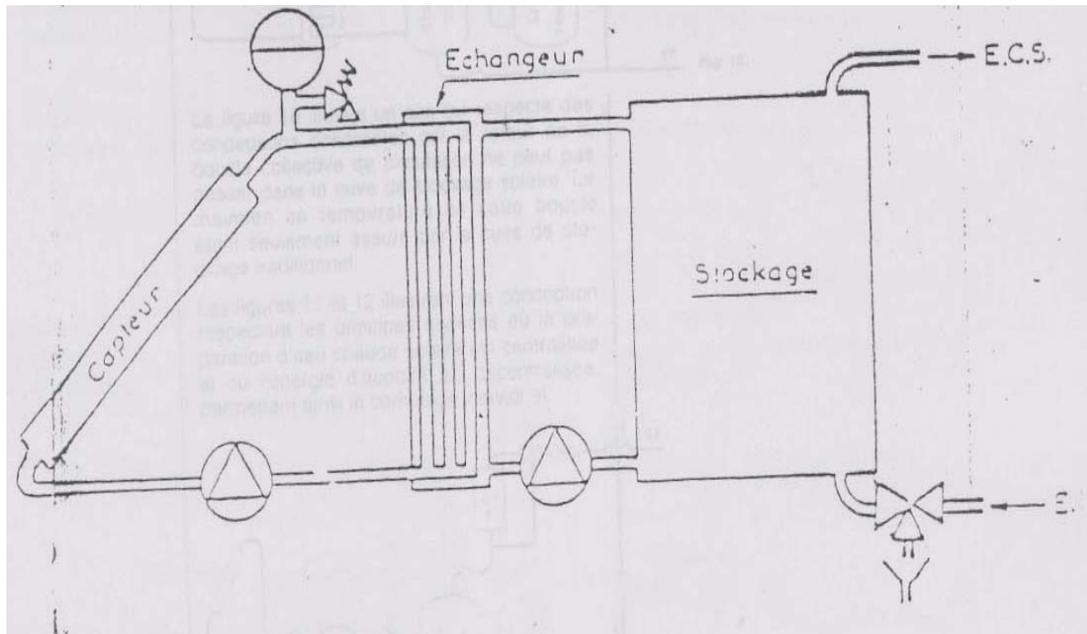


- ❖ L'énergie solaire est aléatoire : conditions météorologiques d'où la nécessité de la conjonction des énergies solaires + traditionnelle selon les 3 principes suivants :
 1. Capter l'énergie solaire au maximum :
 - Un bon capteur
 - Température d'entrée aussi faible que possible
 2. Ne pas mélanger les énergies
 3. Consommer la stricte complémentarité des énergies
- ❖ L'appoint disponible : électricité, gaz, fuel, ...

Conception des installations solaires collectives :

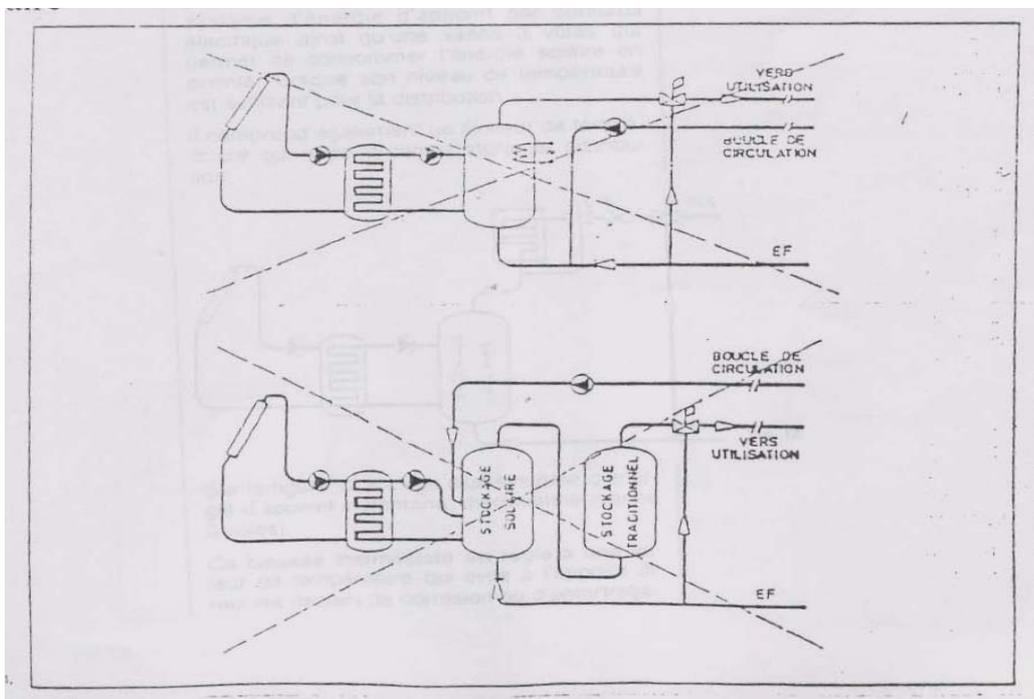
- principe de fonctionnement :

Erreur !



Non respect du premier principe

Le retour de la boucle de circulation passe directement dans la cuve solaire



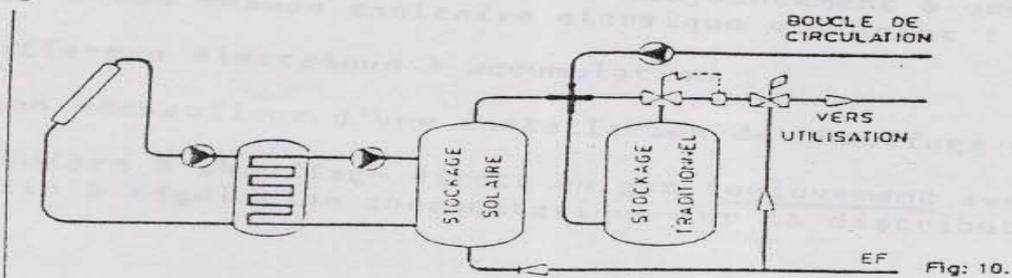


Fig: 10.

La figure 10 illustre un cas qui respecte des conceptions cohérentes car le retour de la boucle collective de circulation ne peut pas passer dans la cuve de stockage solaire. Le maintien en température de cette boucle étant seulement assuré par la cuve de stockage traditionnel.

Les figures 11 et 12 illustrent une conception respectant les principes énoncés où la préparation d'eau chaude solaire est centralisée et où l'énergie d'appoint est décentralisée, permettant ainsi le comptage individuel.

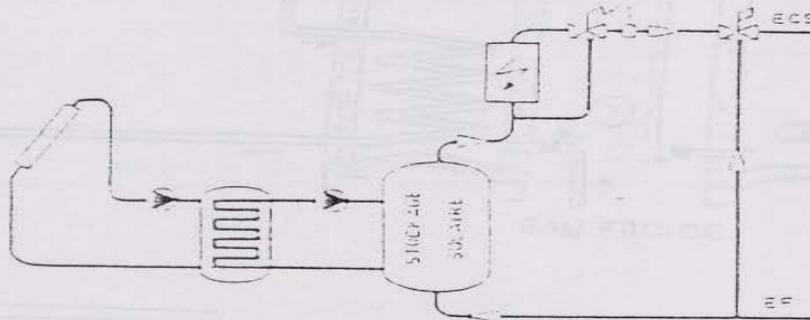


Fig. 11.

L'ensemble de la figure 11 comprend un système d'énergie d'appoint par cumulus électrique ainsi qu'une vanne 3 voies qui permet de consommer l'énergie solaire en priorité, lorsque son niveau de température est suffisant pour la distribution.

Il comprend également un limiteur de température qui règle la température de distribution.

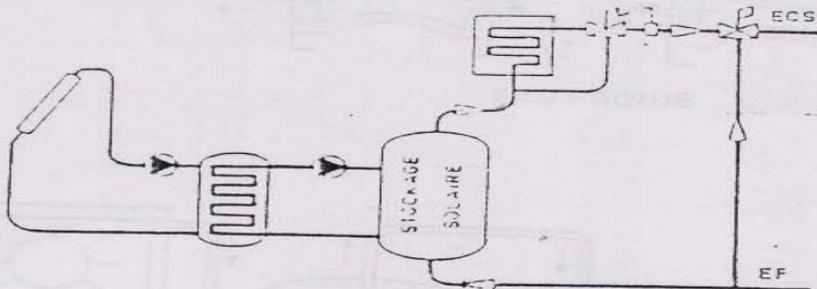


Fig. 12.

Sur la figure 12 il s'agit d'un système d'énergie d'appoint instantané, thermostaté (vanne 3 voies).

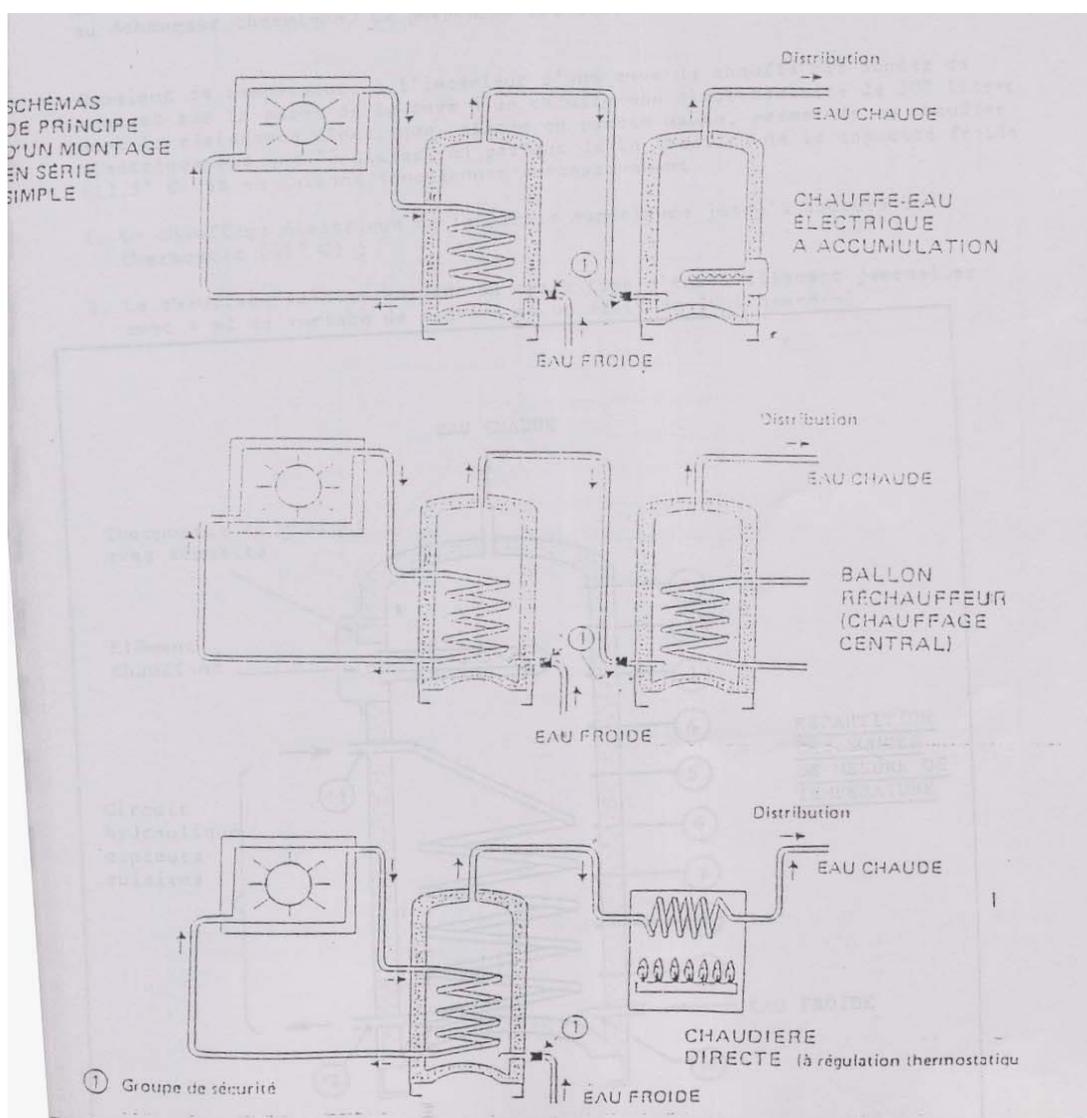
Ce bipasse thermostaté est réglé à une valeur de température qui évite à l'appoint direct les risques de corrosion ou d'entartrage.

LE BALLON SOLAIRE AVEC APPOINT EXTERIEUR

Le chauffe-eau solaire peut être installé conjointement à une installation de distribution d'eau chaude sanitaire classique utilisant :

- Soit un chauffe-eau électrique à accumulation,
- Soit un ballon réchauffeur d'une installation de chauffage central,
- Soit une chaudière à chauffage direct au gaz (uniquement avec chaudière ou chauffe-bain à régulation thermostatique sur la distribution d'eau chaude)

Il suffit de placer le BALLON SOLAIRE en SERIE et en AMONT de la source de stockage ou de chauffage de l'eau sanitaire.



LES CHAUFFE-EAU AVEC APPOINT INTERNE, APPELE AUSSI APPOINT INCORPORE

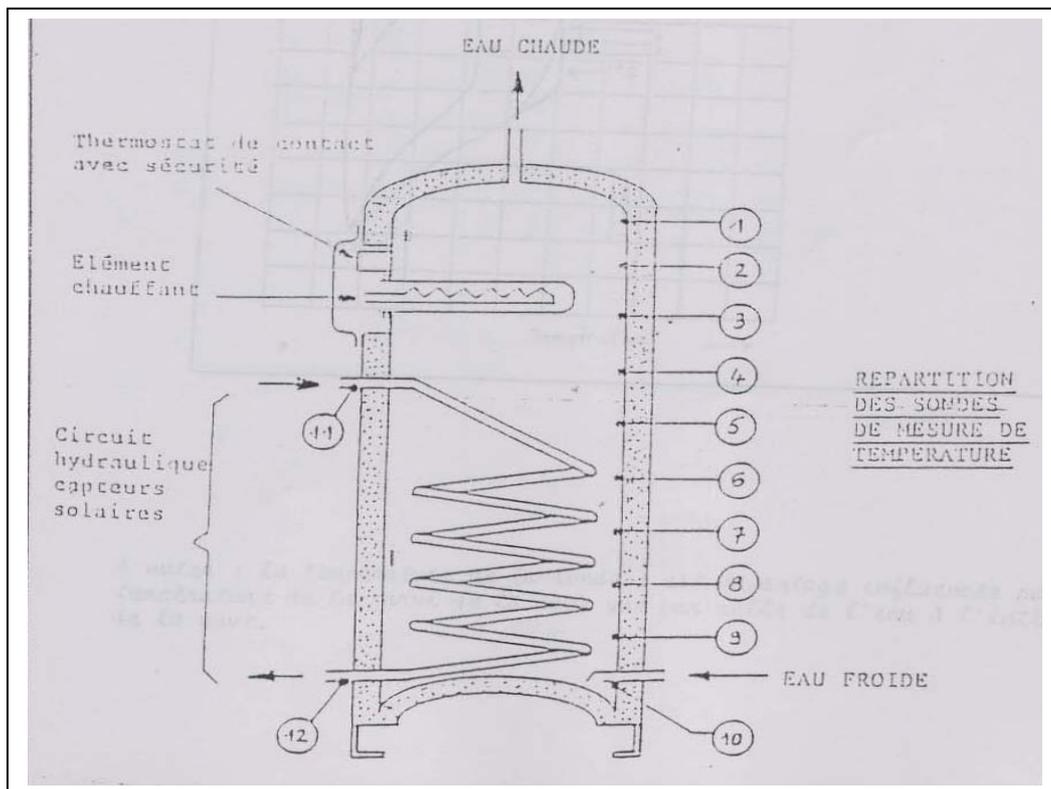
La conception d'un chauffe-eau avec appoint incorporé s'appuie sur le phénomène physique de stratification des couches d'eau chaude et d'eau froide.

La stratification des couches d'eau chaude et d'eau froide est un phénomène physique qui s'explique par le fait que l'eau, en chauffant, se dilate, ce qui pour conséquence directe une diminution de sa densité. La couche d'eau chaude, plus légère, reste donc en partie haute. Le léger mélange des couches d'eau chaude et froide se fera d'avantage sue les périphériques, par la paroi de la cuve qui est beaucoup plus conductrice de la chaleur.

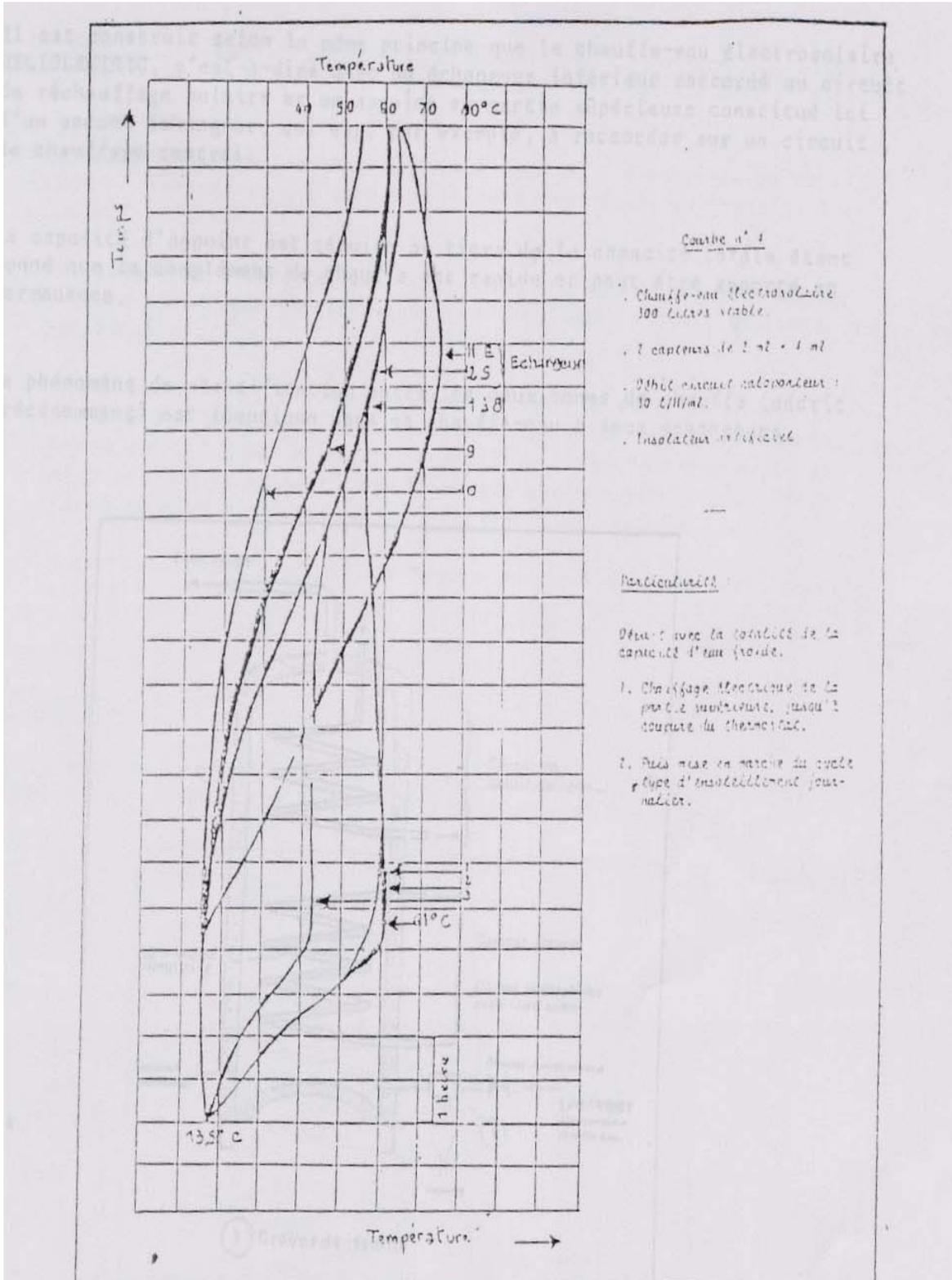
La stratification est obtenue quel que soit l'appoint : résistance électrique ou échangeur thermique. Le phénomène est illustré par l'exemple suivant :

Gradient de température à l'intérieur d'une cuve de chauffe par sondes de contact sur la paroi de la cuve d'un chauffe-eau électro-solaire de 300 litres dont la résistance électrique, placé en partie haute, permet de ne chauffer électriquement que 75 litres, en partant de la totalité de la capacité froide (13,5 °C) et en faisant fonctionner successivement :

1. Le chauffage électrique de la partie supérieure jusqu'à coupure du thermostat (61 °C).
2. Le chauffage solaire suivant un cycle type d'ensoleillement journalier avec 4 m² de surface de captage et un débit de 30 l/heure/m²



Erreur !



A noter : la température de la sonde 3 est d'avantage influencée par la température de la paroi de la cuve que par celle de l'eau à l'intérieur de la cuve.

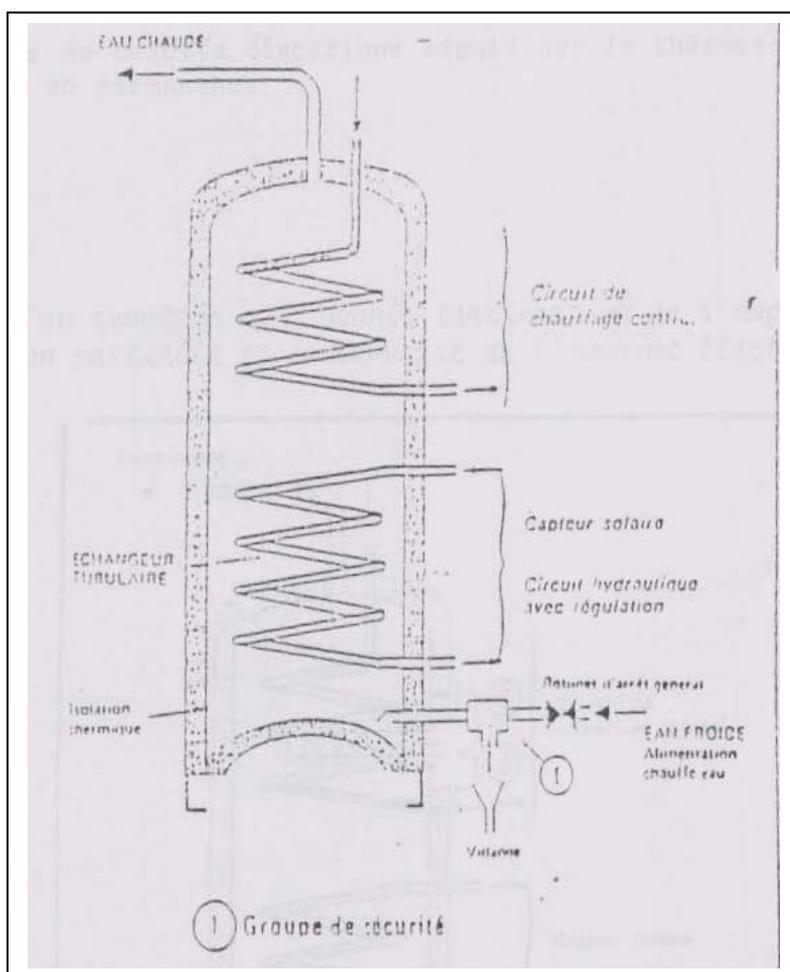
LE CHAUFFE EAU SOLAIRE AVEC APOINT PAR ECHANGEUR THERMIQUE
INCORPORE

Le chauffe-eau à deux échangeurs

Il est construit selon le même principe que le chauffe-eau électro-solaire, c'est-à-dire avec un échangeur inférieur raccordé au circuit de réchauffage solaire et un appoint en partie supérieure constitué ici d'un second échangeur, qui est, par exemple, à raccorder sur un circuit de chauffage central.

La capacité d'appoint est réduite au tiers de la capacité totale étant donnée que le complément de chauffe est rapide et peut être apporté en permanence.

Le phénomène de stratification entre les deux zones de chauffe (décrit précédemment) est identique dans ce chauffe-eau à deux échangeurs.



LE CHAUFFE EAU SOLAIRE AVEC APPOINT ELECTRIQUE+ECHANGEUR THERMIQUE
Le chauffe-eau électro-solaire 2 échangeurs+le corps de chauffe électrique

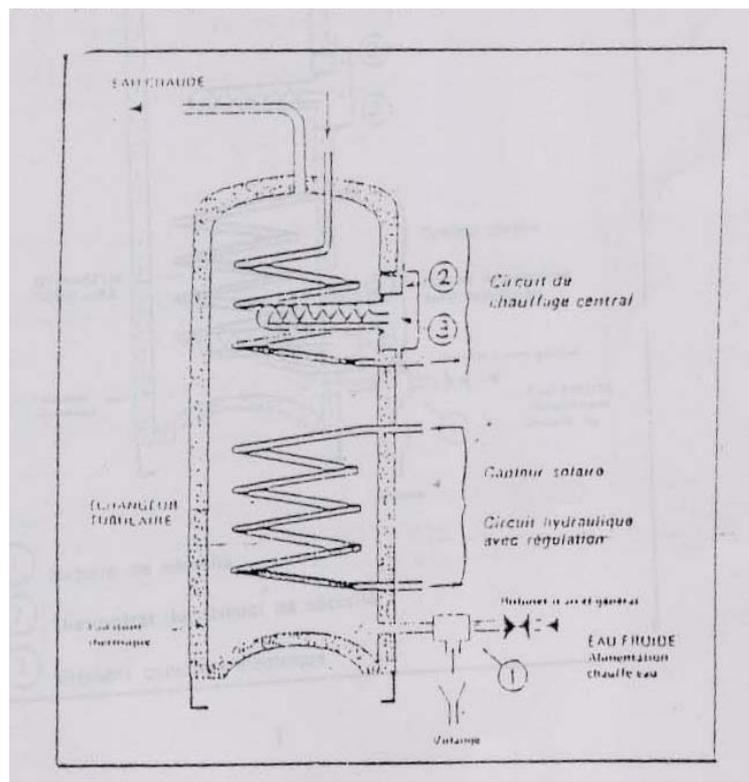
Ce chauffe-eau réunit deux solutions d'appoint : électrique ou par échangeur thermique, qui seront utilisées séparément en fonction des saisons.

- En période de chauffage, le réchauffage est par l'échangeur supérieur raccordé sur le circuit de chauffage central (Cf. solution précédente)
- En période d'arrêt du chauffage pour éviter le maintien en service de la chaudière uniquement pour la production d'eau chaude, l'appoint est obtenu par le corps de chauffe électrique. Etant donnée que pendant cette période la récupération d'énergie solaire est la plus forte, l'appoint électrique nécessaire au confort est faible.

Le corps de chauffe électrique régulé par le thermostat peut rester branché en permanence.

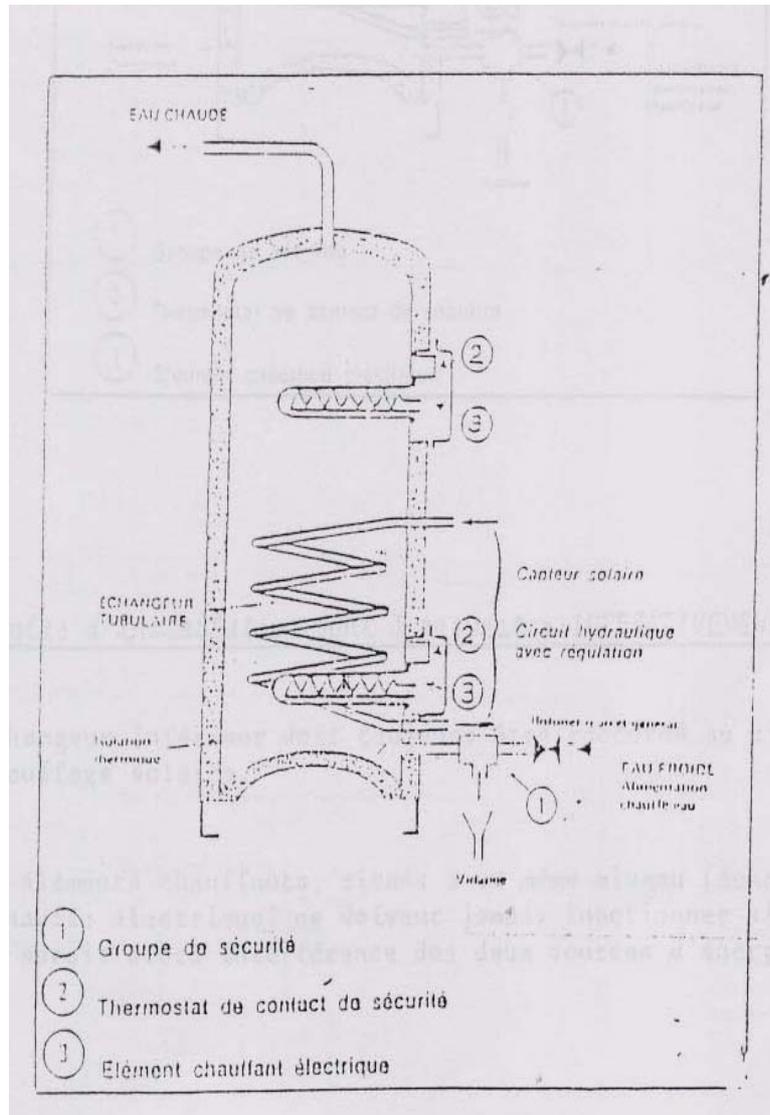
Remarque :

La pose d'un compteur avec double tarification ne s'impose pas pour cette utilisation partielle et saisonnière de l'armoire électrique.

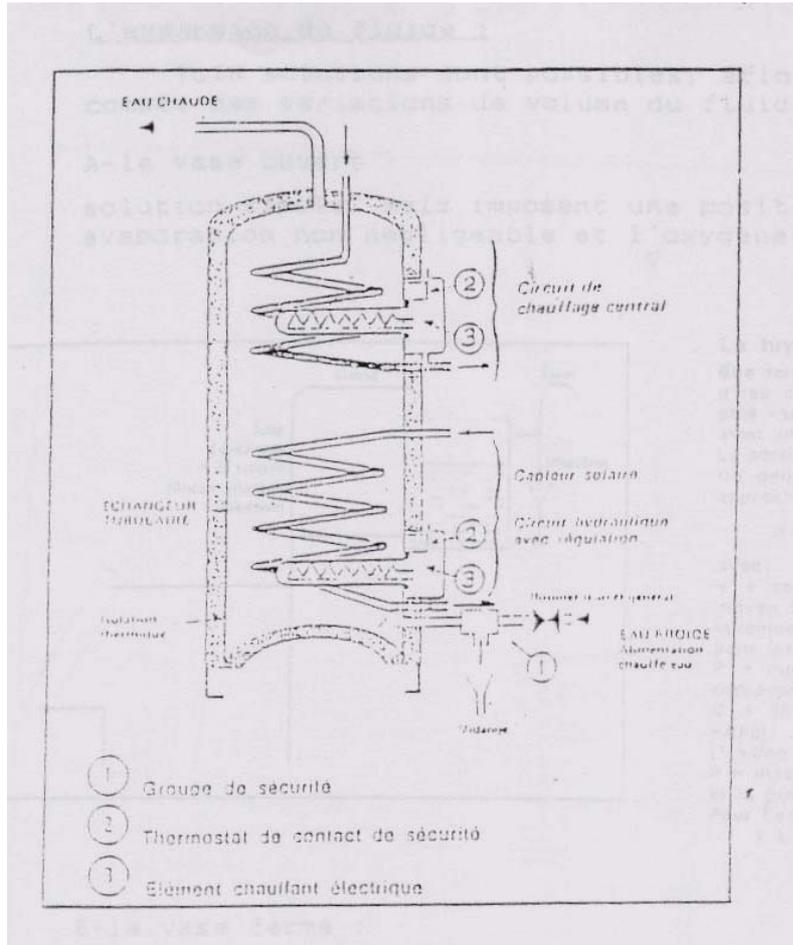


LES CHAUFFES EAU SPECIAUX AVEC APPOINT INCORPORES
Multi énergie et multi usage

Ces chauffe-eau solaires rassemblent toutes les possibilités d'application décrites précédemment et permettent le choix de différentes solutions d'adaptation.



Erreur !



Des règles d'installation sont à respecter IMPERATIVEMENT

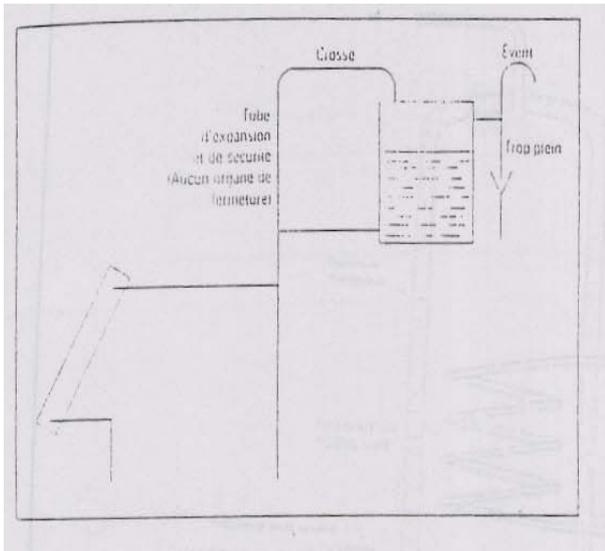
- L'échangeur inférieur doit toujours être raccordé au circuit de réchauffage solaire.
- Deux éléments chauffants, situés à un même niveau (échangeur et corps de chauffe électrique) ne doivent jamais fonctionner simultanément il y aurait alors interférence des deux sources d'énergie.

L'expansion du fluide :

Trois solutions sont possibles, afin de tenir compte des variations de volume du fluide caloporteur :

A- Le vase ouvert :

Solution simple, mais imposant une position haute, une évaporation non négligeable et l'oxygénation du circuit



La tuyauterie d'expansion

Elle doit permettre l'écoulement du débit d'eau correspondant à la dilatation la plus rapide du liquide de l'installation avec une vitesse inférieure à 0,10m/s. la section minimale d'une telle tuyauterie peut être obtenue par la formule approchée :

$$\Phi = 120 \times (\alpha P / cp)^{1/2}$$

α = coefficient de dilatation cubique moyen du liquide de 0 à 110°C (ou entre la température d'entrée de base et 110°C pour les installations avec antigel)

P = puissance max pouvant être reçue par les capteurs (en Kilowatt)

C = chaleur massique du liquide (KJ/Kg)

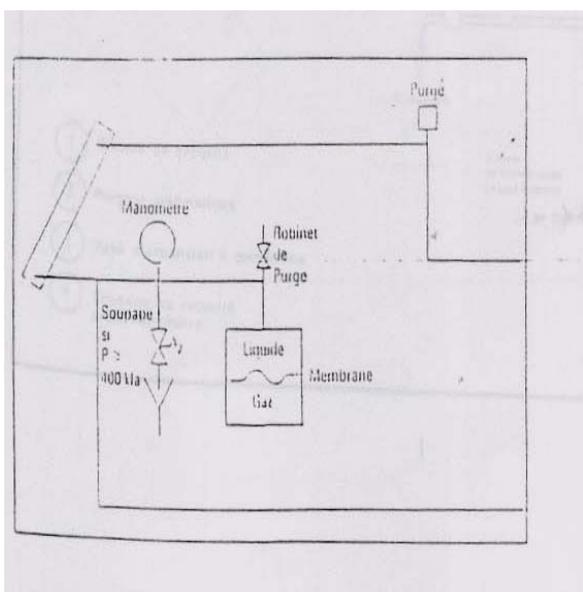
1 KJ/Kg=0,24Kcal/Kg=0,29Wh/Kg

ρ = masse volumique du liquide à 110°C et la pression correspondante.

Pour l'eau sans antigel on aura :

B- Le vase fermé :

Valable pour toute installation.

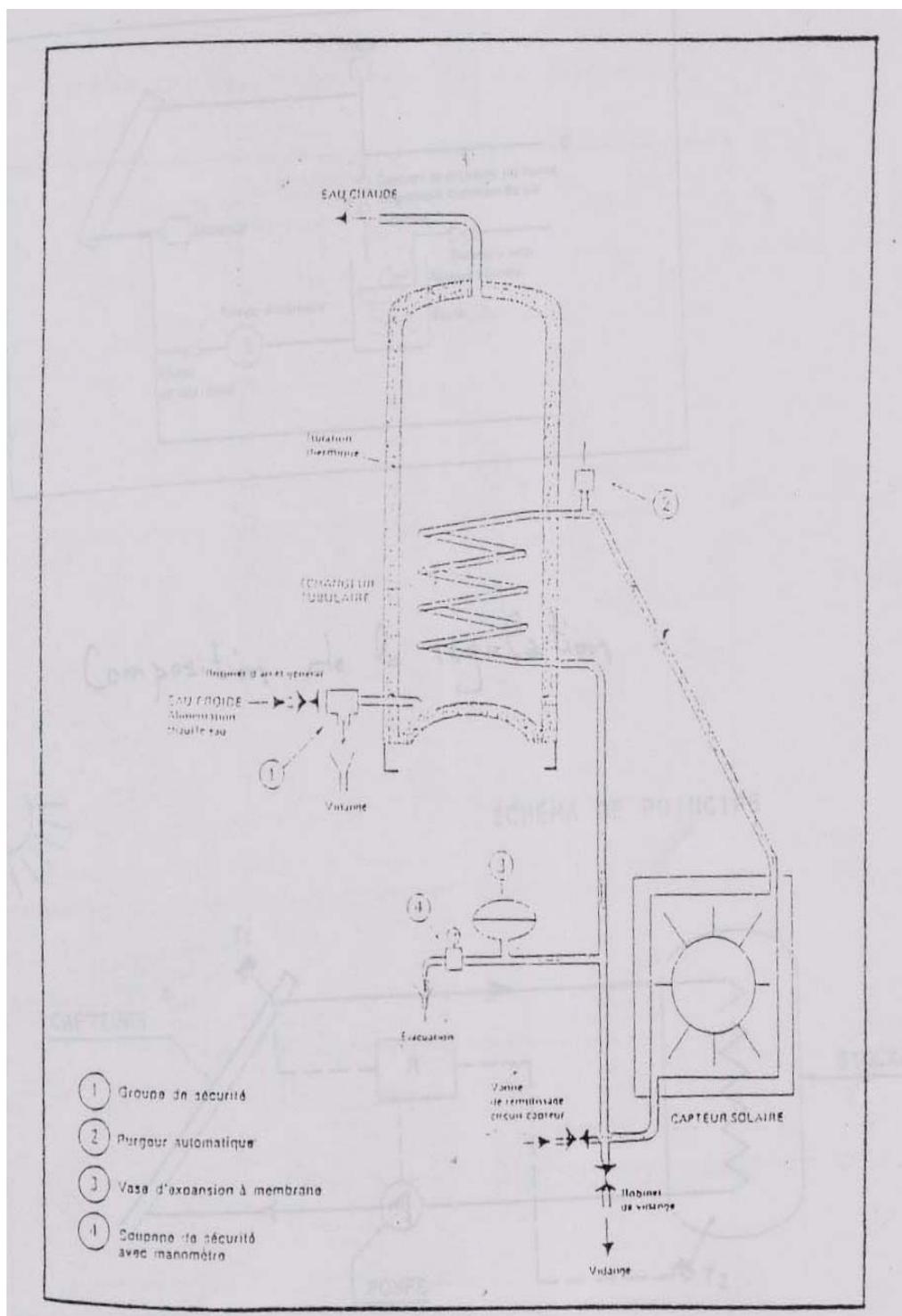


La vase d'expansion

Sa capacité utile doit être au moins égale au volume correspondant à la dilatation du liquide contenu dans l'installation entre 0 et 110°C pour l'eau (soit 6%) et entre la température extérieure de base (des calculs de chauffage et 110°C pour les liquides avec antigel. Pour les vases fermés. Cette condition doit être réalisée tout en respectant la pression max d'utilisation à chaud on tous points de l'installation

Autres composants

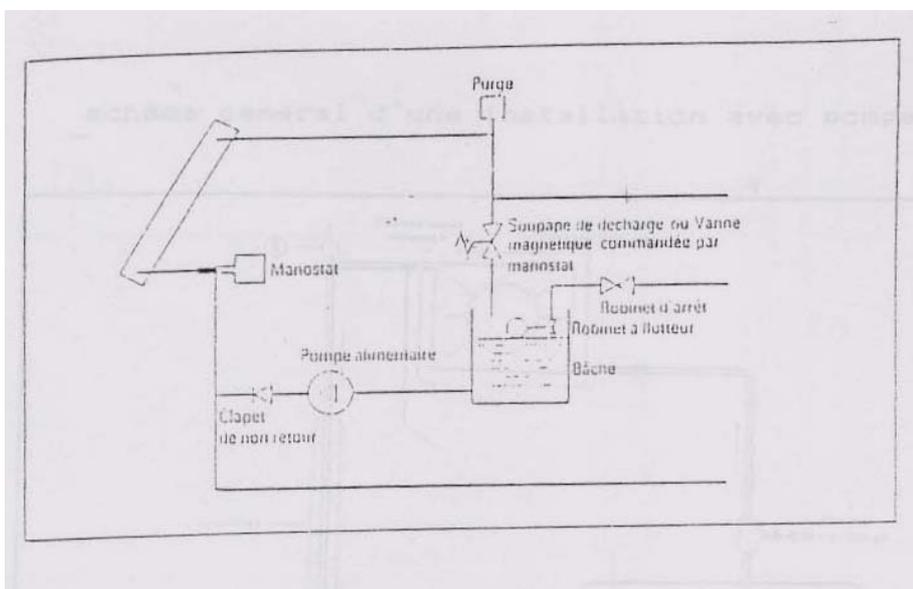
Schéma de principe d'une installation en thermosiphon :



C- Le groupe de maintien de pression :

Réserve aux installations importantes

Erreur



Composition de la régulation

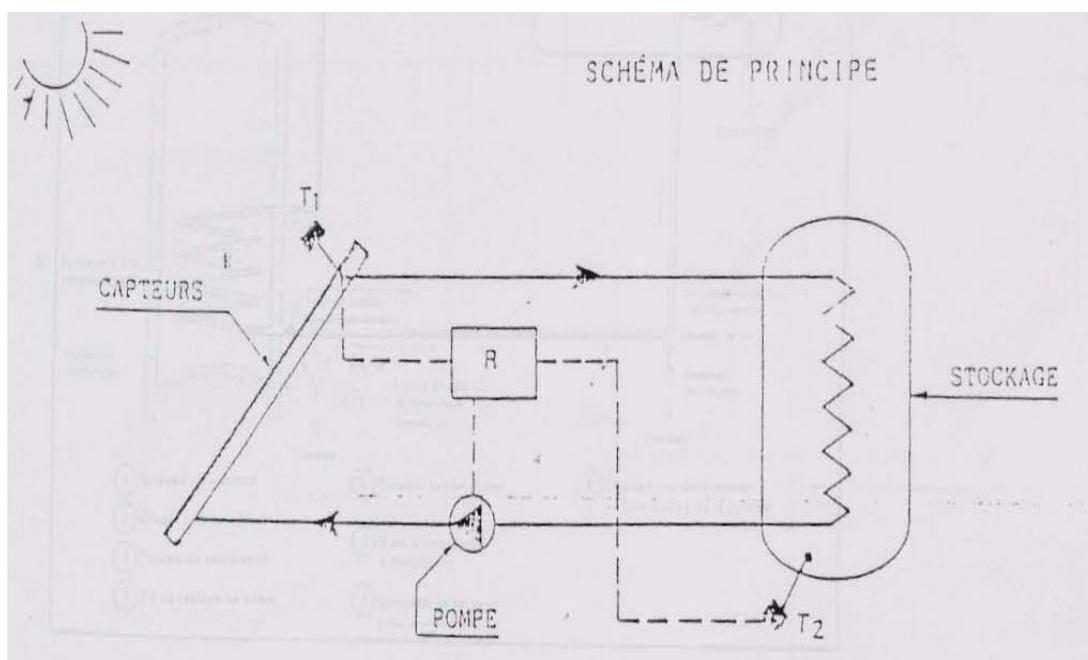
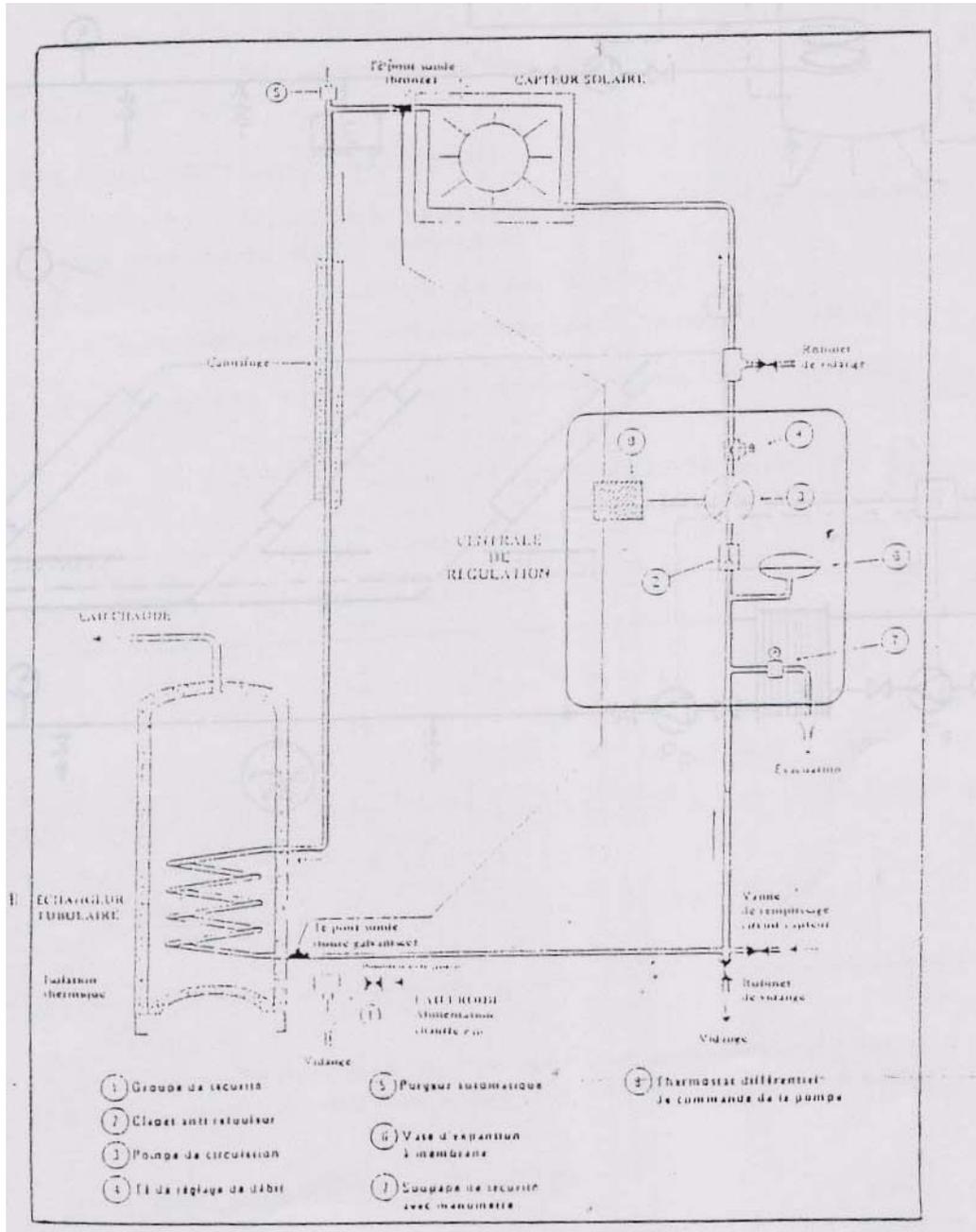
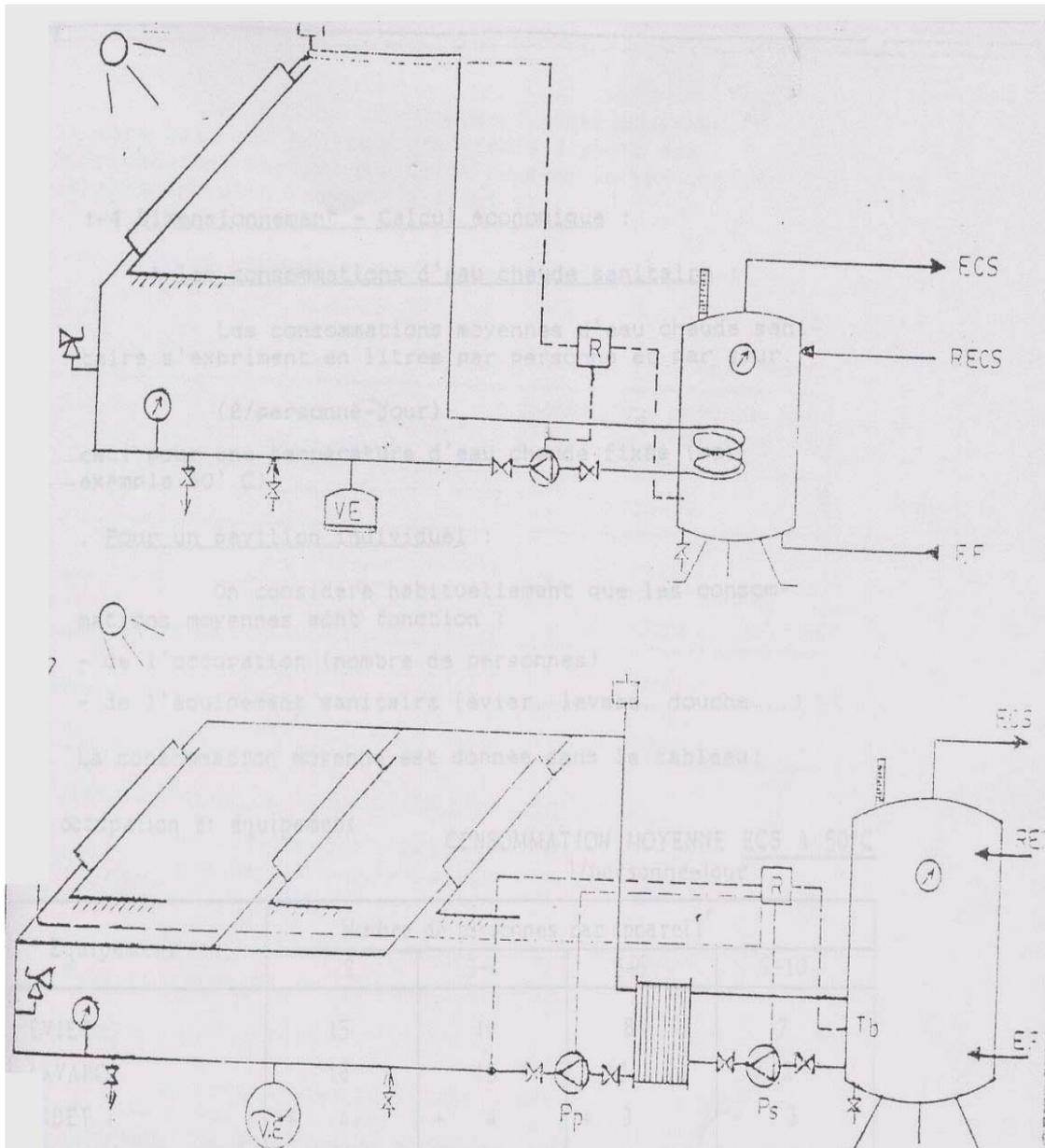


Schéma général d'une installation avec pompe :

Exemple :



Le dimensionnement de ces composants tels que les canalisations, le clapet, la soupape, etc. ...n'est pas abordé ici, étant de la compétence habituelle du plombier – chauffagiste. Pour la pompe, on retient habituellement un débit de 30 à 50 litres/heure et par m² de capteur.



CHAPITRE 4

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME SOLAIRE

1-4 Détermination des besoins en eau chaude des clients

A- les consommations d'eau chaude sanitaire :

Les consommations moyennes d'eau chaude sanitaire s'expriment en litres par personne et par jour .

(l /personne- jour)

ceci pour une température d'eau chaude fixée (par exemple 50°C)

◆ pour pavillon individuel :

On considère habituellement que les consommations moyennes sont fonction :

- de l'occupation (nombre de personnes)
- de L'équipement sanitaire (évier, lavabo, douche...)

la consommation moyenne est donnée dans le tableau :

selon occupation et équipement

CONSOMMATION MOYENNE ECS à 50°C
L/personne- jour

| Equipement | Nombre de personnes par appareil | | | |
|------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 – 4 | 5 – 6 | 7 - 8 |
| EVIER | 15 | 10 | 8 | 7 |
| LAVABO | 18 | 15 | 13 | 12 |
| BIDET | + 4 | + 4 | + 3 | + 3 |
| DOUCHE | + 5 | + 5 | + 4 | + 4 |
| PETITE BAIGNOIRE | + 7 | + 6 | + 6 | + 6 |
| GRANDE BAIGNOIRE | + 12 | + 12 | + 11 | + 10 |

On constate qu'on arrive approximativement à des consommations moyenne de 50 litres /personne- jour.

Pour des logements collectifs :

On considère habituellement que les consommations moyennes sont fonction du type de logement.

De même, l'existence d'un comptage (d'eau chaude ou d'énergie) modifie le comportement des occupants en les incitant à réduire leurs consommations

*Ces valeurs correspondent à des moyennes.
Il sera bien sûr toujours préférable d'avoir des consommations réelles car elles peuvent varier considérablement d'un logement à l'autre.*

LE PROBLEME DU DIMENSIONNEMENT CONCERNE ESSENTIELLEMENT :

- ◆ **LA SURFACE DE CAPTAGE** en mètre carré
- ◆ **LE VOLUME DE STOCKAGE** en litres

Un premier dimensionnement peut se faire par TABLEAU, en fonction de la consommation d'eau chaude

| Consommation d'eau chaude | Surface de capteurs | Volume du ballon de stockage solaire | | |
|----------------------------|--------------------------|---|---|--|
| | | Ballon avec appoint et accumulation de nuit | Ballon avec appoint sans accumulation de nuit | Ballon sans appoint incorporé |
| Faible (2 personnes) | 2 à 4 m ² | Environ 200 litres | Environ 150 litres | 35 à 80 litres par m ² de capteur solaire |
| Assez faible (3 personnes) | 2.5 à 4m ² | Environ 250 litres | Environ 150 litres | |
| Moyenne (4 personnes) | 2.5 à 4.5 m ² | Environ 300 litres | Environ 200 litres | |
| Assez forte (5 personnes) | 3 à 4.5 m ² | Environ 350 litres | Environ 250 litres | |
| Forte (6 à 7 personnes) | 3 à 5 m ² | Environ 450 litres | Environ 300 litres | |

Cette méthode est bien sur trop approximative, En particulier elle ne tient aucun compte de la région, donc de l'ensoleillement du lieu !

METHODE DE CALCUL MANUEL :

Cette méthode consiste à calculer les économies d'énergie réalisables ceci pour un premier dimensionnement du captage.

Elle conduit donc :

- ◆ A modifier éventuellement la surface des capteurs (augmentation pour économiser plus, par exemple)
- ◆ A comparer ces économies a l'investissement

LA METHODE CONSISTE DONC A REMPLIR LE TABLEAU SUIVANT :

| MOIS | ENERGIE SOLAIRE RECUE K w h /M 2 | SURFACE DES CAPTEURS M2 | ENERGIE SOLAIRE DISPONIBLE kWh | ENERGIE SOLAIRE RECUPER-ABLE K w h | CONSOM MATIONS D'EAU CHAUDE SANITAIR E K w h | TAUX DE COUVERT-URE/ |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|
| JANVIER | E1 | S | Ad= E1. S . C | A1= Ad. 50°/° | D1 | A1/D1 |
| FEVRIER | E2 | S | Etc.. | Etc. | D2 | A2/D2 |
| MARS | E3 | S | Etc. | Etc. | D3 | A3/D3 |
| AVRIL | E4 | S | Etc. | Etc. | D4 | A4/D4 |
| MAI | E5 | S | Etc. | Etc. | D5 | A5/D5 |
| JUIN | E6 | S | Etc. | Etc. | D6 | A6/D6 |
| JUILLET | E7 | S | Etc. | Etc. | D7 | A7/D7 |
| AOUT | E8 | S | Etc. | Etc. | D8 | A8/D8 |
| SEPTEMBRE | E9 | S | Etc. | Etc. | D9 | A9/D9 |
| OCTOBRE | E10 | S | Etc. | Etc. | D10 | A10/D10 |
| NOVEMBRE | E11 | S | Etc. | Etc. | D11 | A11/D11 |
| DECEMBRE | E12 | S | etc. | etc. | D12 | A12/D12 |

Nota :C = Coefficient De Correction Du A L'orientation Et L'inclinaison

Nota : Le Calcul Devrait Bien Sur Se Faire Jour Par Jour, Mais Il Serait Alors Trop Long «a La Main ». Un Calcul Mois Par Mois Est Optimiste.

Description De La Méthode

- 1)Déterminer, Mois Par Mois, L'énergie Solaire Disponible Par Mettre- Carré De Capteur, Donc Pour La Surface PRE-DIMENSIONNEE.
- 2)Déterminer, Mois Par, L'énergie Solaire Récupérée En Affectant A L'installation Solaire Un Rendement Global, Par Exemple 50 °/°
- 3) Déterminer, Mois Par Mois, Les Consommations D'énergie Nécessaires A La Production De L'eau Chaude Sanitaire.
- 4) Comparer, Mois Par Mois, Ces Deux Valeurs

- Méthode Simplifiée :

On Peut Aussi Utiliser La «formule D'ESPIC » Valable Pour L'eau Chaude Sanitaire :

Economie E(K W H / An)= K x A x D

Avec

1- A= Surface De Capteurs En M2

2- D= Durée Annuelle D'insolation En Heures (Fonction Du Lieu)

3- Apres Avoir Calcule $K = \frac{\text{Besoins Annuels Utiles (K W H)}}{\text{Surface De Capteurs (M2)}}$

Lire K Dans Le Tableau Suivant :

| | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K | 0,187 | 0,198 | 0,208 | 0,218 | 0,237 | 0,264 | 0,264 | 0,304 | 0,336 |
| X | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |

Application numérique :

Calculez, Suivant Cette Méthode Simplifiée, L'économie Annuelle En (K W H / An) Ceci Pour 2 M2, Puis Pour 4 M² De Capteurs Dans. Le Cas Suivant :

- Consommation D'eau Chaude Sanitaire A50°C De 200 Litres /Jour (Eau Froide A 10°C, Ceci 323 Jours /An.)

- Rendement Global =0,80

- Durée Annuel D 'insolation = 300 H / An

D - Calcul Du Temps De Retour :

Le Temps De Retour (En Années) Est Le Rapport De L'investissement Sur L'économie Annuelle

Il Donne Une Idée Du Temps Nécessaire Pour Assurer L'amortissement De La Somme Investie Dans Les Travaux.

Exemple :

◆ Coût Total D'une Installation Solaire =12 000 Dh

♦ Economie Annuelle Prévues = 800 Dh

On A Alors :

Temps De Retour : $12000/800 = 15$ Ans

Réalité, Ce Chiffre S'appelle Le Temps De Retour Brut, Car il est Très Imprécis.

Il Ne Tient Pas Compte, En Particulier :

- De La Durée De Vie Des Matériels (Qui Peut Etre Inférieure Au Temps De Retour !)
- Des Frais D'entretien De L'installation
- Des Conditions Financiers De L'investissement (Prêt A Taux Elève, Par Exemple).
- De L'évolution Possible Des Coûts De L'énergie

Dimensionnement Et Temps De Retour D'une Installation Collective Ou Tertiaire :

La Méthode Simplifiée Décrite Précédemment Peut Appliquer Aux Installations. Plus Importantes.

Elle donnera bien sûr des résultats approximatifs.

Il est donc conseillé d'utiliser alors l'outil informatique, des logiciels effectuant les calculs pour tout projet solaire, soit la détermination :

Des apports solaires utiles tenant compte :

- De l'ensoleillement
- Des caractéristiques de l'installation (rendement des capteurs, dimensionnement initial, régularité des besoins ...)
- Du dimensionnement optimal de l'installation
- Du plan du financement.

Module : *ENERGIE SOLAIRE*

GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES

I. TP1 : intitulé du TP raccordement des tubes au capteur

I.1 . Objectif(S) visé (s) :

- *raccorder les tubes au capteur*

I.2 . durée du TP :

4h

I.3. Matériel (équipement et matière d'œuvre)par équipe :

(a) Equipement :

- *capteur*
 - coupe tube cuivre*
 - lime*
 - pince à cintrer*
 - appareil à battre les collets*
 - clé à molette*

(b) Matière d'œuvre

- *tube en cuivre*
- *raccord en cuivre*

I.4. description du TP :

Le stagiaire doit : raccorder le tube en cuivre au capteur

I.5. Déroulement du T P:

Ces travaux pratique doivent être faites par deux ou trois stagiaires

II. TP1 : intitulé du TP Façonnage des tubes du capteur

I.1 . Objectif(S) visé (s) :

- *Façonner les tubes du capteur*

I.2 . durée du TP :10h

I.3. Matériel (équipement et matière d'œuvre)par équipe :

a- Equipement :

- *capteur*
- *coupe tube cuivre*
- *lime*
 - pince à cintrer*
 - appareil à battre les collets*
 - clé à molette*

b- Matière d'œuvre

- *tube en cuivre*
- *raccord en cuivre*

I.4. description du TP :

Le stagiaire doit : déluger, cintrer , Façonner les collet, battus sur tube en cuivre

I.5. Déroulement du TP :

Ces travaux pratique doivent être réaliser par deux ou trois stagiaires

Evaluation de fin de module

- 1- *expliquer le revêtement sélectif des absorbeurs*
- 2- *expliquer le principe physique d'un capteur solaire thermique*

3- *dimensionnement*

ville : Casablanca (5KWh/jour/m²)

Nombre de personne : 400 (hôtel)

Consommation.moy / jour : 50L /j /personne

Température de distribution : 55°C

Température de distribution réseau : 16°C

Rendement du capteur : 65 %

Calculer la surface de captage nécessaire pour assurer les besoins de l'hôtel.

Liste des références bibliographiques.

| Ouvrage | Auteur | Edition |
|---|-------------------|--------------------|
| <i>Enneigé solaire</i> | <i>Cours ENIM</i> | |
| <i>L'eau chaude sanitaire solaire</i> | <i>AICVF</i> | <i>PYC édition</i> |
| <i>Le rayonnement solaire</i> | <i>R.BERNARD</i> | <i>TEC DOC</i> |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |